



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

STUDI BAHAN AKUSTIK DAN INSULASI TERMAL POLIESTER BERPENGUAT NANOSULOSA DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN METODE PENUANGAN (*CASTING*)

AXEL GIAN ADITAMA
NRP. 2713 100 137

Dosen Pembimbing :
Ir. Moh. Farid, DEA
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR- TL 141584

**STUDI BAHAN AKUSTIK DAN INSULASI TERMAL
POLIESTER BERPENGUAT NANOSELULOSA DARI
SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
DENGAN METODE PENUANGAN (*CASTING*)**

**AXEL GIAN ADITAMA
NRP. 2713 100 137**

**Dosen Pembimbing
Ir. Moh. Farid, DEA
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**STUDY OF ACOUSTICAL AND THERMAL
INSULATION POLYESTER REINFORCED BY
NANOCELLULOSE FROM OIL PALM EMPTY
FRUIT BUNCH FIBER BY CASTING METHOD**

**AXEL GIAN ADITAMA
NRP. 2713 100 137**

Advisors

Ir. Moh. Farid, DEA

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

**DEPARTMENT OF MATERIALS ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**STUDI BAHAN AKUSTIK DAN INSULASI TERMAL
POLIESTER BERPENGUAT NANOSULOSA DARI
SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN
METODE PENUANGAN (CASTING)**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
AXEL GIAN ADITAMA
Nrp. 2713 100 137

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Moh. Farid, DEA (Pembimbing I)

2. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc..... (Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**Studi Bahan Akustik dan Insulasi Termal Poliester
Berpenguat Nanoselulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa
Sawit dengan Metode Penuangan (Casting)**

Nama : Axel Gian Aditama
NRP : 2713 100 137
Jurusan : Teknik Material
Dosen Pembimbing: Ir. Moh. Farid, DEA
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Komposit berpenguat nano filler merupakan salah satu material yang sedang dikembangkan. Salah satu aplikasinya dapat digunakan sebagai bahan akustik dan insulasi termal. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh komposisi massa filler terhadap morfologi, nilai koefisien absorpsi suara dan konduktivitas termal. Penelitian ini menggunakan resin poliester tak jenuh (UPR) sebagai matriks dan nanoselulosa sebagai filler. Fraksi berat yang dipakai yaitu 2, 4 dan 6%. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian meliputi SEM, TEM, FTIR, TGA, densitas, absorpsi suara dan konduktivitas termal. Pembuatan nanoselulosa dengan menggunakan tiga tahap perlakuan kimia yaitu alkalisasi, bleaching dan hidrolisis asam. Penambahan fraksi berat menyebabkan nilai absorpsi suara (α) naik. Nilai α tertinggi pada frekuensi 4000 Hz terdapat pada UPR/Nanoselulosa 6%, yaitu sebesar 0,4475 Hz. Seiring bertambahnya filler jumlah void pada komposit juga bertambah. Void terbentuk karena ada udara yang terperangkap selama proses manufaktur, penyusutan UPR dan gap diantara serat. Nilai konduktivitas termal (k) komposit menurun seiring bertambahnya filler, disebabkan nilai k selulosa lebih rendah daripada UPR. Nilai k terendah yaitu 0.164 W/mK dimiliki UPR/nanoselulosa 6%.

Kata kunci : *Bahan Akustik, Insulasi Termal, Tandan Kosong Kelapa Sawit, Selulosa, Resin Poliester Tak Jenuh*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**Study of Acoustical and Thermal Insulation Polyester
Reinforced by Nanocellulose from Oil Palm Empty Fruit
Bunch Fiber by Casting Method**

Name : Axel Gian Aditama
NRP : 2713 100 137
Department : Teknik Material
Advisors : Ir. Moh. Farid, DEA
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Composite materials reinforced by nanofiller are one of the developed materials. It can be used as an acoustical and thermal insulation material. The purpose of this study was to analyze the effect of weight fraction of filler to the morphology, sound absorption coefficient and thermal conductivity. This study used unsaturated polyester resin as the matrix, nanocellulose as the filler. Weight fractions used for this research were 2, 4 and 6%. Tests performed in this study were included SEM, TEM, FTIR, density sound absorption and thermal conductivity. Extraction of nanocellulose used three step chemical treatment. There are alkali treatment, bleaching and acid hydrolysis. As the fiber loading increased, the sound absorption coefficient (α) increased. The highest α value at 4000 Hz was obtained on UPR/Nanocellulose 6%, that was 0,4475. Furthermore, void content also increased due to entrapped air during manufacture, shrinkage of UPR and gap between fiber. On the other hand, thermal conductivity (k) decreased as fiber loading increased cause thermal conductivity of cellulose is lower than UPR. The lowest k value was 0.164 W/mK that obtained in UPR/Nanocellulose 6%.

Keywords : Acoustical Materials, Thermal Insulation, Oil Palm Empty Fruit Bunch, Cellulose, Unsaturated Polyester Resin

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kasih karunia yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“STUDI BAHAN AKUSTIK DAN INSULASI TERMAL POLIESTER BERPENGUAT NANOSELULOSA DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN METODE PENUANGAN (CASTING)”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Selama melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karuniaNya dari awal memulai perkuliahan di ITS hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga atas semua doa, dukungan moril dan materiil, pengertian dan cinta yang telah diberikan selama ini
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc. selaku *co*-pembimbing yang senantiasa memberi bimbingan, arahan dan nasihat.
5. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc selaku dosen wali yang selalu mengayomi
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.T selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
7. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir serta seluruh dosen dan staff karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS

8. Keluarga HMMT dan MT15 yang selalu membantu selama masa perkuliahan
9. Henry, Rachmadhani, Samuel dan Sita selaku teman seperjuangan selama Tugas Akhir.
10. Seluruh pihak yang telah memberi dukungan dan motivasi yang tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan. Penulis berharap pembaca dapat mengambil ilmu yang ada dan memberikan kritik dan/saran untuk perkembangan teknologi yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit	5
2.2 Klasifikasi Material Komposit.....	6
2.3 Komposit Serat	8
2.4 <i>Nanofiller</i>	10
2.5 Kelapa Sawit	11
2.6 Selulosa	13
2.7 Perlakuan Kimia Serat	15
2.8 Matriks	16
2.9 Resin Poliester Tak Jenuh (UPR).....	17
2.10 Bunyi dan Gelombang Bunyi.....	18
2.11 Material Akustik	21
2.12 Material Absorpsi Bunyi.....	25
2.13 Konduktivitas Termal	27
2.14 Insulasi Termal	31
2.15 Aplikasi	31
2.16 Hukum Pencampuran.....	36
2.17 Penelitian Terdahulu	37

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	39
3.1.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.1.2 Diagram Alir Sintesis Serat Mikro Selulosa	40
3.1.3 Diagram Alir Sintesis Serat Nano Selulosa	41
3.1.4 Diagram Alir Pembuatan Komposit	42
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	43
3.2.1 Bahan Penelitian	43
3.2.2 Peralatan Penelitian	47
3.3 Variabel Penelitian	52
3.4 Metode Penelitian	52
3.4.1 Persiapan Bahan	52
3.4.1.1 Pengolahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit	52
3.4.1.2 Pembuatan Komposit	53
3.4.1.3 Cetakan	55
3.4.2 Proses Pengujian	56
3.4.2.1 Pengujian Densitas	56
3.4.2.2 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara	57
3.4.2.3 Pengujian SEM	59
3.4.2.4 Pengujian TEM	60
3.4.2.5 Pengujian FTIR	61
3.4.2.6 Pengujian Konduktivitas Termal	62
3.4.2.7 Pengujian TGA-DTG	66
3.5 Rancangan Penelitian	67

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Morfologi	69
4.2 Analisis FTIR	75
4.2.1 Analisis FTIR pada serat Tandan Kosong Kelapa Sawit	75
4.2.2 Analisis FTIR pada serat Resin Poliester Tak Jenuh dan Komposit	79

4.3 Analisis Konduktivitas Termal	82
4.4 Analisis Absorpsi Suara	83
4.5 Analisis Densitas	87
4.6 Analisis TGA	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA	xxiii
LAMPIRAN.....	xxxiii
BIODATA PENULIS	li

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi material komposit	6
Gambar 2.2	Komposit partikel	7
Gambar 2.3	Komposit serat	7
Gambar 2.4	Komposit laminat	7
Gambar 2.5	Pohon kelapa sawit	11
Gambar 2.6	Skema persebaran selulosa, hemiselulosa dan lignin pada serat alam	12
Gambar 2.7	TEM dari nanoselulosa dengan perbesaran 50.000x	14
Gambar 2.8	Reaksi serat dengan asam sulfat	16
Gambar 2.9	Rantai ikatan (a) polimer thermoplastik dan (b) polimer termoset.....	17
Gambar 2.10	(a) Proses reaksi kimia pembuatan resin poliester tak jenuh dan (b) struktur kimia UPR	17
Gambar 2.11	Sistem terjadi bunyi	19
Gambar 2.12	Diagram <i>sound displacement-time</i>	19
Gambar 2.13	Zona frekuensi material penyerap berpori	22
Gambar 2.14	Zona frekuensi penyerap resonant	23
Gambar 2.15	Zona frekuensi tipe <i>helmholtz</i>	24
Gambar 2.16	Zona frekuensi tipe <i>wideband</i>	25
Gambar 2.17	Interaksi gelombang bunyi dengan permukaan material atau objek	26
Gambar 2.18	Mekanisme konduktivitas termal pada material kristalin	28
Gambar 2.19	Mekanisme konduktivitas termal pada material amorfus.....	29
Gambar 2.20	Mekanisme perpindahan panas pada komposit terhadap ukuran dan aspek rasio <i>filler</i>	30
Gambar 2.21	Respon frekuensi di dalam kabin kendaraan dengan dan tanpa lapisan penyerap suara.....	32
Gambar 2.22	Bagian mobil yang dipergunakan sebagai material penghalang dan penyerap suara	33

Gambar 2.23	Estimasi koefisien penyerapan suara pada door panel	35
Gambar 2.24	(a) Komposisi material dan (b) database material	36
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	40
Gambar 3.2	Diagram alir pembuatan serat mikro selulosa	41
Gambar 3.3	Diagram alir pembuatan serat nanoselulosa	42
Gambar 3.4	Diagram alir pembuatan komposit.....	43
Gambar 3.5	(a) Tandan kosong kelapa sawit (TKKS), (b) serat TKKS	44
Gambar 3.6	Aquades	44
Gambar 3.7	NaOH	45
Gambar 3.8	H ₂ O ₂	45
Gambar 3.9	H ₂ SO ₄	46
Gambar 3.10	Resin poliester tak jenuh	46
Gambar 3.11	Metil etil keton peroksida	47
Gambar 3.12	Stiren monomer	47
Gambar 3.13	Mesin pengayak	48
Gambar 3.14	<i>Stirring hotplate</i>	49
Gambar 3.15	Alat <i>centrifuge</i>	49
Gambar 3.16	Alat uji absorpsi suara	50
Gambar 3.17	Alat uji SEM	50
Gambar 3.18	Alat uji TEM	51
Gambar 3.19	Alat uji FTIR	51
Gambar 3.20	Alat uji konduktivitas termal	52
Gambar 3.21	Tahapan pembuatan komposit	55
Gambar 3.22	Cetakan	56
Gambar 3.23	Pengujian densitas (a) spesimen ditimbang di udara (b) specimen ditimbang dalam air	57
Gambar 3.24	Rangkaian alat uji absorpsi suara	58
Gambar 3.25	Dimensi spesimen uji absorpsi suara	58
Gambar 3.26	Spesimen uji absorpsi suara	59
Gambar 3.27	Prinsip kerja SEM.....	60

Gambar 3.28	Spesimen SEM komposit UPR/Nanoselulosa dengan komposisi massa filler (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%	61
Gambar 3.29	Skema TEM	62
Gambar 3.30	Skema uji FTIR	63
Gambar 3.31	Skema uji konduktivitas termal	65
Gambar 3.32	Spesimen uji konduktivitas termal komposit UPR/Nanoselulosa dengan komposisi massa filler (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%	67
Gambar 4.1	TEM nanoselulosa dengan perbesaran 40.000x ..	69
Gambar 4.2	SEM serat TKKS tanpa perlakuan dengan perbesaran 100x.....	70
Gambar 4.3	SEM serat TKKS perlakuan alkalisasi dengan perbesaran 100x.....	70
Gambar 4.4	SEM serat TKKS perlakuan <i>bleaching</i> dengan perbesaran 500x.....	71
Gambar 4.5	SEM serat TKKS perlakuan hidrolisis asam dengan perbesaran 1500x	71
Gambar 4.6	SEM pengaruh penambahan filler terhadap morfologi (a) resin poliester tak jernih, komposit UPR/nanoselulosa dengan komposisi massa (b) 2%, (c) 4% dan (d) 6%	73
Gambar 4.7	SEM <i>void</i> pada komposit UPR/nanoselulosa dengan penambahan filler (a) 2, (b) dan 6% dengan perbesaran 3000x	75
Gambar 4.8	Spektrum FTIR TKKS (a) tanpa perlakuan, (b) alkalisasi, (c) <i>bleaching</i> dan (d) hidrolisis	76
Gambar 4.9	Struktur kimia (a) selulosa, (b) lignin (Ayrilmis N., 2016)	79
Gambar 4.10	Spektrum FTIR (a) UPR murni dan (b) UPR/nanoselulosa 6%	80
Gambar 4.11	Konduktivitas termal komposit UPR/Nanoselulosa	83
Gambar 4.12	Mekanisme absorpsi suara	85

Gambar 4.13	Koefisien absorpsi suara komposit UPR/Nanoselulosa	86
Gambar 4.14	Densitas komposit UPR/Nanoselulosa	88
Gambar 4.15	TGA komposit resin polyester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dengan komposisi massa (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%	89
Gambar 4.16	DTG komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dengan komposisi massa (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat mekanik serat alam (Jawaid, 2011).....	9
Tabel 2.2	Komposisi kimia serat alam (O. Faruk, 2012) ...	10
Tabel 2.3	Komposisi kimia serat kelapa sawit (M. D. H Beg, 2015)	13
Tabel 2.4	Sifat mekanik serat kelapa sawit (Shinoj, 2011).....	13
Tabel 2.5	Sifat mekanik selulosa (Moon, 2011).....	14
Tabel 2.6	Sifat dari resin poliester tak jenuh (P. K. Mallic, 2007)	18
Tabel 3.1	Spesifikasi alat <i>thermal conductivity measuring apparatus</i>	66
Tabel 3.2	Rancangan penelitian	68
Tabel 4.1	Data diameter serat	72
Tabel 4.2	Daerah serapan infra merah serat TKKS tanpa perlakuan, alkalisasi, <i>bleaching</i> dan hidrolisis	78
Tabel 4.3	Spektrum infra merah resin poliester tak jenuh dan komposit UPR/Nanoselulosa	81
Tabel 4.4	Konduktivitas termal komposit UPR/Nanoselulosa	82
Tabel 4.5	Koefisien absorpsi suara komposit UPR/Nanoselulosa	84
Tabel 4.6	Densitas komposit UPR/Nanoselulosa	87
Tabel 4.7	Stabilitas termal komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dengan variasi komposisi massa.....	90

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan material pada industri otomotif dan transportasi mulai menggunakan material yang lebih ringan dan komponen yang dapat didaur ulang untuk meningkatkan energi efesiensi, khususnya menggunakan bahan komposit berpenguat serat alam dengan matriks polimer yang mampu menjadi material *biodegradable*. Penggunaan kembali serat alam, dipicu oleh adanya regulasi tentang persyaratan habis pakai (*end of life*) produk komponen otomotif bagi negara-negara Uni Eropa dan sebagian Asia. Di Asia khususnya di Jepang, sekitar 88% komponen otomotif telah di daur ulang pada tahun 2005 dan akan meningkat pada tahun 2015 menjadi 95% (Jasmari, 2008). Selain itu, perkembangan produksi otomotif harus diimbangi dengan kesadaran akan lingkungan dengan memproduksi otomotif yang ramah lingkungan, dimana memiliki arti outputan gas dan suara yang dihasilkan tidak mengganggu lingkungan.

Menurut data dari WHO, sebanyak 40% populasi di Eropa mengalami kebisingan di jalan raya melebihi 55 dB pada pagi hari, sebanyak 20% mengalami kebisingan disiang hari sebesar 65 dB dan lebih dari 30% mengalami kebisingan dimalam hari melebihi 55 dB. Suara bising akan mengganggu konsentrasi dan meningkatkan tekanan darah. Selain itu dapat mengganggu kesehatan dan menurunkan kinerja manusia. Di Indonesia sendiri, terdapat peraturan mengenai batas kebisingan yang diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 tentang ambang batas kebisingan kendaraan bermotor tipe baru bahwa kendaraan bermotor memiliki ambang batas kebisingan rata-rata 80 dB. Telah banyak dilakukan usaha untuk dapat mereduksi kebisingan yaitu dengan menggunakan bahan-bahan peredam dan penyerap suara sebagai material akustik. Material akustik yang digunakan harus terbuat dari bahan yang berpori, dimana pori-pori ini akan menyerap bunyi yang lebih besar



dibandingkan dengan bahan yang lainnya. Dengan adanya pori ini maka gelombang bunyi akan masuk ke dalam material tersebut dan energi suara yang diserap ini dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya, pada umumnya diubah ke energi kalor (Wirajaya, 2007).

Kendaraan khususnya mobil pada siang hari terpapar sinar matahari baik dalam keadaan bergerak ataupun berhenti. Ketika kendaraan berhenti atau parkir, panas akan terperangkap dan meningkatkan temperatur yang dapat menyebabkan kerusakan pada material yang terdapat di dalam kabin kendaraan dan adanya gas berbahaya akibat penguapan zat kimia.

Penelitian menyebutkan mobil yang parkir di lingkungan terbuka, panas yang terperangkap di dalam kabin akan mencapai temperatur di atas 60°C dalam jangka waktu 15 menit. Menurunkan sedikit kaca untuk sirkulasi udara dapat menurunkan temperatur kabin sebesar 10°C daripada jendela yang tertutup rapat (Manning R., 2006).

Serat alam merupakan material yang dapat diperbaharui dan diperoleh dari sumber alam yang memiliki beberapa keunggulan, seperti densitas yang rendah, kekuatan spesifik yang memenuhi syarat, kemampuan penyerapan suara yang baik, abrasivitas yang rendah, harga murah, dan kemampuan *biodegradable* yang tinggi. Serat natural yang sering digunakan untuk bahan absorpsi suara diantaranya adalah serat rami, serat kapuk, serat bamboo yang memiliki koefisien absorpsi yang cukup baik. Di Indonesia salah satu serat alam yang banyak terbuang yaitu kelapa sawit. Sisa dari pengolahan kelapa sawit yaitu 70% daun palem, 10% tandan kosong dan 5% batang (Ratnasingam, 2011). Bagian dari kelapa sawit yang dapat diekstraksi seratnya adalah batang, daun palem dan tandan kosong. Tandan kosong merupakan salah satu bagian yang sangat berpotensi memberikan serat yaitu sebesar 73% (Wirjosentono et al., 2004).

Resin polyester tak jenuh (UPR) banyak digunakan dalam industri komposit. UPR memiliki sifat mekanik dan kimia yang baik, ketahanan terhadap bahan kimia dan cuaca yang baik dan harga yang murah. Selain itu keuntungan menggunakan UPR

BAB I PENDAHULUAN



daripada resin *thermosetting* lainnya yaitu mudah untuk dikerjakan, dapat diberi zat warna dan mudah dalam pencampuran dengan serat dalam fasa larutan (Cao, 2002).

Oleh karena itu, penulis ingin melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pembuatan komposit untuk absorpsi bunyi dan insulator termal dengan berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit dengan matriks resin poliester tak jenuh (UPR), dimana diharapkan memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang tinggi dan memiliki karakteristik tipe *wideband* serta konduktivitas termal yang rendah dengan harga yang murah dan ramah lingkungan.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas sebelumnya, perumusan masalah yang akan diidentifikasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh komposisi massa filler terhadap morfologi dan nilai koefisien absorpsi suara komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit?
2. Bagaimana pengaruh komposisi massa filler terhadap nilai konduktivitas termal komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nano selulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit?

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian digunakan untuk mengasumsikan parameter konstanta yang pengaruhnya dianggap sangat kecil bagi proses penelitian ini sehingga dapat diabaikan. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Pengotor pada saat sintesis dan pengujian diabaikan.
2. Distribusi serat dianggap merata.
3. Nilai densitas air dianggap sama dengan 1 gr/cm^3 .



I.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis dan mendeterminasi pengaruh komposisi massa filler terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara pada komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit.
2. Menganalisis dan mendeterminasi pengaruh komposisi massa filler terhadap nilai konduktivitas termal pada komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menciptakan inovasi baru dalam pengembangan teknologi material komposit berpenguat serat alam sebagai material akustik dan insulasi termal pada interior otomotif.
2. Memanfaatkan limbah organik sehingga memiliki nilai guna lebih.
3. Memberikan alternatif material dengan memanfaatkan sumber daya alam sekitar.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik yang dengan struktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik (Sulistijono, 2012). Multifasa yang terjadi pada material komposit bukan terjadi secara natural melalui reaksi, transformasi fasa dan sebagainya. Material komposit berbeda dengan material paduan. Material paduan adalah material yang dibentuk dari dua komponen atau lebih yang terbentuk secara natural dengan proses *casting* (Chung, 2010). Material campuran tersebut akan menghasilkan material yang baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya. Dengan penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik dari material-material tersebut diantaranya adalah :

- Kekuatan
- Kekakuan
- Ketahanan korosi
- Ketahanan gesek
- Konduktivitas termal
- Insulasi listrik
- Ketahanan fatik
- Berat
- Tampilan
- Insulasi Panas

Bahan komposit secara umum terdiri dari penguat dan matrik. Penguat komposit pada umumnya mempunyai sifat kurang ulet tetapi lebih kaku serta lebih kuat. Fungsi utama dari penguat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu penguat harus mempunyai tegangan tarik dan



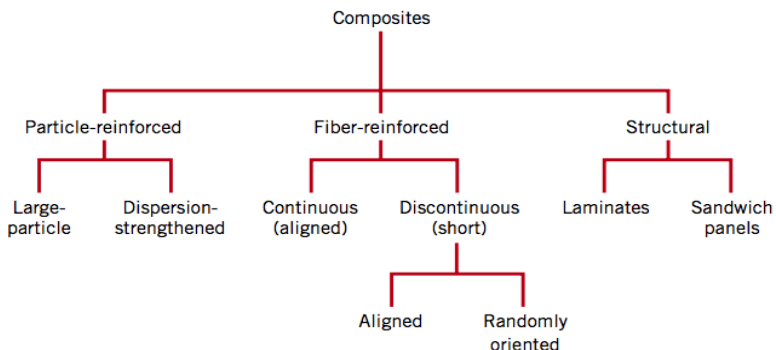
modulus elastis yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit.

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matrik, umumnya lebih ulet tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.

Tujuan dibuatnya komposit yaitu memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu, mempermudah desain yang sulit pada manufaktur, keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya produksi, dan menjadikan bahan lebih ringan (Callister, 2009).

2.2 Klasifikasi Material Komposit

Material komposit memiliki beragam jenis berdasarkan macam-macam aspek. Secara umum, skema klasifikasi komposit ditunjukkan pada Gambar 2.1.

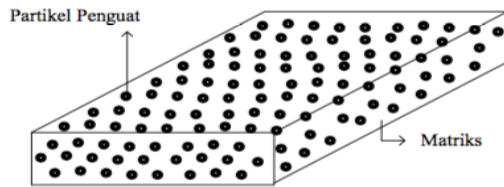


Gambar 2.1 Klasifikasi material komposit (William D.Callister, Jr. Material Science and Engineering: An Introduction. Edisi 8)

Berdasarkan jenis penguatnya, secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu :

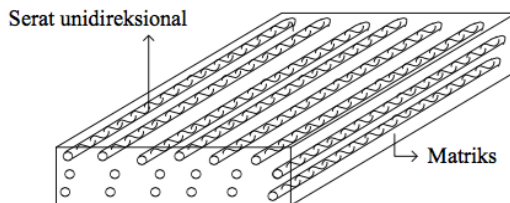
1. Komposit partikel (*particulate composites*), yaitu komposit yang tersusun atas matriks kontinyu dan penguat yang

dikontinyu yang berbentuk partikel, fiber pendek atau whiskers.



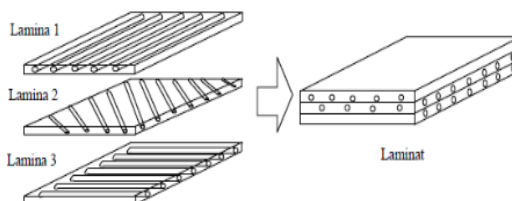
Gambar 2.2 Komposit partikel

2. Komposit serat, yaitu komposit yang tersusun atas matriks kontinyu dan memiliki penguat berbentuk serat/fiber.



Gambar 2.3 Komposit serat

3. Komposit laminat, yaitu komposit yang terdiri dari beberapa lapisan lamina berpenguat fiber atau lamina berpenguat partikel atau lamina logam atau kombinasi dari lamina-lamina dengan material yang berbeda dimana lapisan saling terikat.



Gambar 2.4 Komposit laminat



Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC) adalah matriks yang paling umum digunakan pada material komposit karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi serta lebih ringan.
2. *Metal Matrix Composite* (MMC) adalah salah satu jenis komposit yang menggunakan matriks logam.
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) merupakan material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa sebagai matriks dimana matriks terbuat dari keramik

2.3 Komposit Serat

Serat terdiri dari ratusan bahkan ribuan filament, masing-masing filament memiliki diameter 5 sampai 15 μm , sehingga dapat diproses lebih lanjut. Secara umum komposit serat diklasifikasikan menjadi dua yaitu

1. Serat pendek, dengan panjang fraksi dalam millimeter atau beberapa sentimeter.
2. Serat panjang, dipotong selama proses fabrikasi material komposit, biasanya berupa anyaman (woven). (Gay, 2015)

Ditinjau dari pembuatannya, serat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu serat sintetis dan serat alami. Pada umumnya, serat sintesis berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi.

Serat alami merupakan serat yang terbuat dari bahan-bahan alami seperti aren, serabut kelapa, pelepah pisang, serat pohon, residu kayu, dan lain-lain. Penggunaan serat alami bukannya memberikan efek penguatan, tetapi hanya penambah massa dari material komposit sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah bahkan menurunkan kekuatan dan kekakuan matriks sebelumnya (Sulistijono, 2012). Sifat mekanik dari berbagai jenis serat alam ditunjukkan pada Tabel 2.1.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Tabel 2.1 Sifat mekanik serat alam (Jawaid, 2011)

Serat	Densitas (g/cm ³)	Kekuatan tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	Elongasi (%)
OPEFB	0.7-1.55	248	3.2	2.5
Flax	1.4	88-1500	60-80	1.2-16
Hemp	1.48	550-900	70	1.6
Jute	1.46	400-800	10-30	1.8
Ramie	1.5	500	44	2
Coir	1.25	220	6	15-25
Sisal	1.33	600-700	38	2-3
Abaca	1.5	980	-	-
Cotton	1.51	400	12	3-10
Kenaf (bast)	1.2	295	-	2.7-6.9
Kenaf (core)	0.21	-	-	-
Bagasse	1.2	20-290	19.7-27.1	1.1
Henequen	1.4	430-580	-	3-4.7
Pineapple	1.5	170-1672	82	1-3
Banana	1.35	355	33.8	53

Komposisi kimia dari serat alam memiliki pengaruh yang besar terhadap karakteristik komposit ditunjukkan dengan persentase selulosa, hemiselulosa lignin dan wax pada Tabel 2.2



Tabel 2.2 Komposisi kimia serat alam (O. Faruk, 2012)

Serat	Selulosa (wt%)	Hemiselulosa (wt%)	Lignin (wt%)	Wax (wt%)
Bagasse	55.2	16.8	25.3	-
Bamboo	26-43	30	21-31	-
Flax	71	18.6-20.6	2.2	1.5
Kenaf	72	20.3	9	-
Jute	61-71	14-20	12-13	0.5
Hemp	68	15	10	0.8
Ramie	68.6-76.2	13-16	0.6-0.7	0.3
Abaca	56-63	20-25	7-9	3
Sisal	65	12	9.9	2
Coi	32-43	0.15-0.25	40-45	-
Oil palm	65	-	29	-
Pineapple	81	-	12.7	-
Curaua	73.6	9.9	7.5	-
Wheat straw	38-45	15-31	12-20	-
Rice husk	35-45	19-25	20	-
Rice straw	41-57	33	8-19	8-38

2.4 Nanofiller

Nanokomposit adalah komposit dengan struktur berukuran nanometer. Struktur ini dapat berupa ukuran butir, ukuran *filler*, ukuran pori, dan lain-lain. Ukuran pori yang kecil membantu untuk meningkatkan kekuatan mekanik dari material berpori. Ukuran butir yang kecil sangat menarik karena menghasilkan kuat luluh yang tinggi pada logam dan ketahanan yang tinggi pada keramik. Ukuran *filler* yang kecil menghasilkan daerah interfasa filler-matrix yang besar.

Nanofiller merupakan *filler* atau pengisi dengan rentang ukuran (0.5 – 500 nm, biasanya 1 – 100 nm). *Nanofiller* dapat berbentuk nanopartikel, nanofiber, nanotube, nanoplatelets, dan bentuk lainnya. *Nanofiller* berguna untuk modifikasi interfasa dan modifikasi permukaan komposit (Chung, 2010).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.5 Kelapa Sawit

Kelapa sawit dengan nama latin *Elaeis guineensis* Jacq, ditunjukkan pada Gambar 2.5, merupakan tanaman penghasil minyak terbesar di dunia dan dibudidayakan di 42 negara dengan lahan seluas 27 juta hektar. Kelapa sawit family Palmacea dan berasal dari hutan tropis Afrika Barat. Negara pembudidaya kelapa sawit terbesar yaitu Afrika Barat, Malaysia, Indonesia, Thailand, Brazil dan India (Joseph et al., 2006). Dari tanaman kelapa sawit, terdapat tiga bagian untuk mendapatkan serat lignocellulosic yaitu *trunk*, *frond* dan tandan kosong. Pohon kelapa sawit memiliki rentang hidup sekitar 25 tahun dan memiliki tinggi 7-13 m dengan ketebalan 45-65cm, yang diukur 1,5 m di atas permukaan tanah (Abdul Khalil et al., 2010).



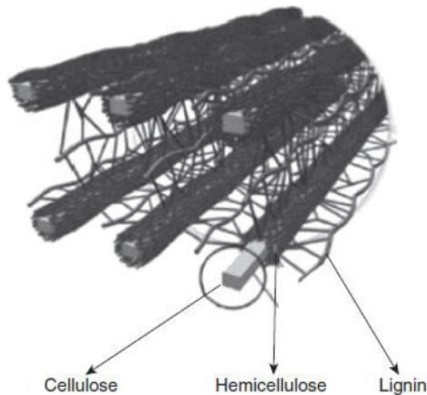
Gambar 2.5 Pohon kelapa sawit (M. D. H Beg, 2015)

Residu dari pengolahan kelapa sawit yaitu 70% daun palem, 10% tandan kosong dan 5% batang (Ratnasingam, 2011). Bagian dari kelapa sawit yang dapat diekstraksi seratnya adalah batang, daun palem dan tandan kosong. Tandan kosong merupakan salah satu bagian yang sangat berpotensi memberikan serat yaitu sebesar 73% (Wirjosentono et al., 2004).



Pori pada permukaan serat kelapa sawit memiliki diameter rata-rata sebesar $0.07\ \mu\text{m}$. Morfologi permukaan berpori berguna untuk meningkatkan kemampuan *mechanical interlocking* dengan matrik pada saat fabrikasi komposit (Sreekala et al., 1997).

Kandungan utama serat kelapa sawit terdiri dari selulosa dan hemiselulosa diperkuat dalam matriks lignin (Raveendran et al, 1995; Meier dan Faix, 1999; Demirba S. 2000), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Skema persebaran selulosa, hemiselulosa dan lignin pada serat alam (M. D. H Beg, 2015)

Tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan selulosa tertinggi yang cocok untuk aplikasi komposit polimer (Sreekala et al., 2004). Kandungan lignin yang rendah pada tandan kosong kelapa sawit memudahkan untuk dilakukan proses *bleaching* daripada bagian batang (Mohamad et al., 1985). Komposisi kimia serat kelapa sawit dari tiga bagian tanaman kelapa sawit ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 menunjukkan komposisi kimia dan sifat mekanik serat kelapa sawit.



Tabel 2.3 Komposisi kimia serat kelapa sawit (M. D. H Beg, 2015)

Komposisi	EFB (wt%)	Fronde (wt%)	Trunk (wt%)
Selulosa	43-65	40-50	29-37
Hemiselulosa	17-33	34-38	12-17
Lignin	13-37	20-21	18-23
Ash	1-6	2-3	2-3

Tabel 2.4 Sifat mekanik serat kelapa sawit (Shinoj, 2011)

Sifat	Rentang
Diameter (μm)	150 – 600
Microfibrillar angle ($^{\circ}$)	46
Density (g/cm^3)	0.7 – 1.55
Tensile strength (MPa)	50 – 400
Young's modulus (GPa)	0.57 – 9
Elongation at break (%)	4 – 18
Tensile strain (%)	13.71
Length-weighted fiber length (mm)	0.99
Cell-wall thickness (μm)	3.38
Fiber coarseness (mg/m)	1.37
Fines (<0.2 mm) (%)	27.6
Rigidity index, $(T/D)^3 \times 10^{-4}$	55.43

2.6 Selulosa

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n. Sebagian besar selulosa terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan-tumbuhan (Anggorodi, 1994). Selulosa merupakan substansi yang tidak larut dalam air yang terdapat di dalam dinding sel tanaman terutama dari bagian batang, tangkai dan semua bagian yang mengandung kayu. Selulosa merupakan homopolisakarida yang mempunyai molekul berbentuk linear (Lehninger et al., 2000). Struktur yang linear menyebabkan selulosa bersifat kristalin

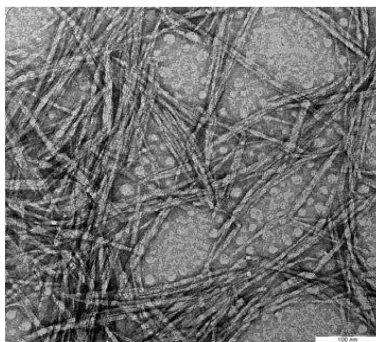


dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Metode untuk membuat selulosa menjadi nanoselulosa adalah hidrolisis asam, yaitu mengadopsi asam untuk memecah bagian selulosa yang berantakan dan amorfus, meninggalkan domain kristalin utuh (Shanmugarajah dkk, 2015). Sifat mekanik selulosa ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Sifat mekanik selulosa (Moon, 2011)

Sifat	Rentang Nilai
Densitas (g/cm^3)	1.6
Kekuatan tarik (GPa)	7.5 – 7.7
E_A (GPa)	110 – 220
E_T (GPa)	10 – 50

Pada umumnya, hidrolisis asam adalah proses utama untuk sintesis nanoselulosa. Hidrolisis asam melibatkan depolimerisasi rantai selulosa dengan pemecahan secara hidrolitik pada ikatan glikosida. Depolimerisasi selulosa terjadi secara acak, dimana asam cenderung menyerang selulosa amorf dari pada kristal, sehingga mengakibatkan pembentukan ukuran seragam nanoselulosa (L. Brinci, 2013). Gambar 2.7 menunjukkan serat nanoselulosa dari pengujian TEM.



Gambar 2.7 TEM dari nanoselulosa dengan perbesaran 50.000x (Ireana, 2014)



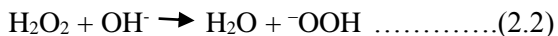
2.7 Perlakuan Kimia Serat

Dalam pembuatan komposit polimer serat alam, *interfacial bonding* antara serat dan polimer merupakan hal penting yang harus diperhatikan karena serat alam bersifat hidrofilik dan polimer bersifat hidrofobik. Peningkatan kekuatan ikatan diantara kedua bahan dengan memodifikasi secara kimiawi.

Alkalisasi adalah perlakuan kimia untuk memodifikasi permukaan serat alam yang digunakan sebagai penguat dalam komposit. Perlakuan ini bertujuan untuk memecah ikatan hidrogen sehingga meningkatkan kekasaran permukaan. Alkalisasi menghilangkan lignin, hemiselulosa, lilin dan minyak yang mengelilingi permukaan serat. Proses alkalisasi dilakukan dengan merendam serat ke dalam larutan NaOH dalam waktu yang ditentukan (Li, 2007). Reaksi kimia alkalisasi ditunjukkan dengan persamaan :



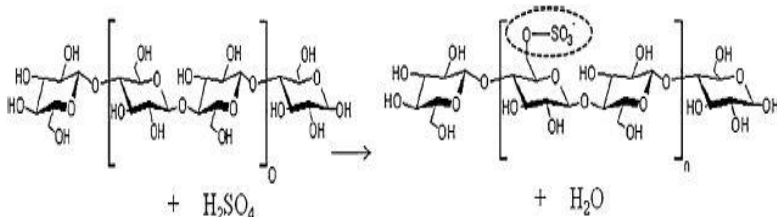
Perlakuan *bleaching* dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) bertujuan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa. Hidrogen peroksida sebagai agen oksidasi pada proses *bleaching* menyebabkan serat mengalami perubahan warna. Ion perhidroksil (^-OOH) dihasilkan dari penguraian hidrogen peroksida ke dalam larutan alkali. Ion ^-OOH menyerang grup lignin dan selulosa (Rayung, 2014). Reaksi kimia *bleaching* ditunjukkan dengan persamaan :



Perlakuan hidrolisis asam bertujuan untuk melarutkan bagian amorfus sehingga mereduksi ukuran serat. Ketika asam sulfat berdifusi ke dalam serat terjadi pemisahan ikatan glikosidik sehingga terjadi pemisahan fibril pada selulosa. Kondisi ini harus dijaga agar tidak terjadi hidrolisis sempurna glukosa (Dong et al,



1998). Reaksi kimia asam sulfat dengan serat ditunjukkan pada Gambar 2.8.



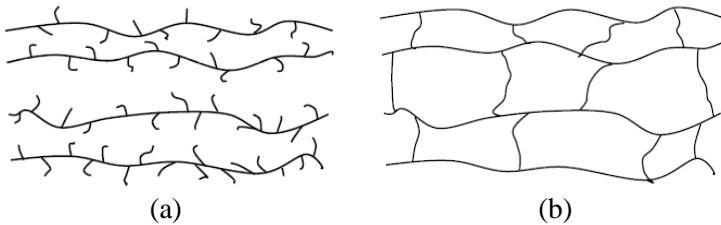
Gambar 2.8 Reaksi serat dengan asam sulfat (Fahma, 2010)

2.8 Matriks

Matriks merupakan fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat bersama-sama. Matriks merupakan kontituen penyusun komposit yang berperan sebagai pengikat atau penyangga yang menjaga kedudukan antar fasa penguat. Karakteristik yang harus dimiliki matriks umumnya adalah ulet, kekuatan dan rigiditas rendah apabila dibandingkan penguat. Matriks harus mampu membeku pada temperature dan tekanan yang wajar. Bahan matriks yang umum digunakan pada komposit adalah matriks polimer, matriks logam dan matriks keramik (Sulistijono, 2012).

Peran matriks pada komposit berpenguat serat adalah untuk menjaga serat agar tetap berada pada tempatnya, menyalurkan tegangan diantara serat, menjadi pembatas dengan lingkungan yang merugikan dan melindungi permukaan serat dari degradasi mekanik.

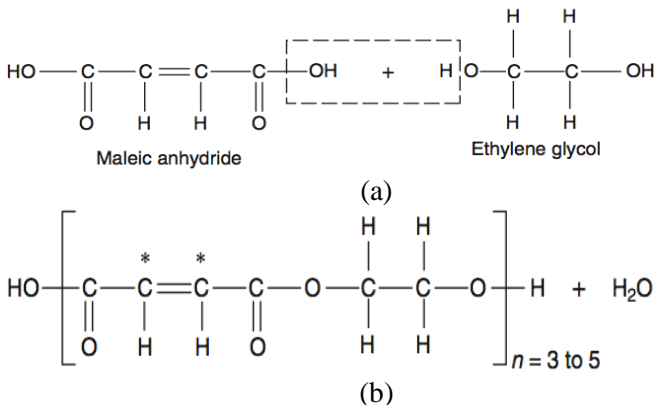
Polimer dibagi menjadi dua kategori yaitu thermoplastik dan thermoset. Polimer thermoplastik, molekulnya tidak berikatan secara kimia. Polimer thermoset, molekul berikatan secara kimia dengan bentuk *cross-link* (P. K. Mallick, 2007). Gambar 2.9(a) dan 2.9(b) menunjukkan perbedaan rantai ikatan polimer thermoplastik dan thermoset.



Gambar 2.9 Rantai ikatan (a) polimer termoplastik dan (b) polimer termoset (Mahjoub, 2012)

2.9 Resin Poliester Tak Jenuh (UPR)

Resin poliester tak jenuh atau *unsaturated polyester resin* merupakan jenis polimer termoset yang memiliki ikatan ganda C=C. UPR terbuat dengan reaksi polimerisasi antara *maleic anhydride* dan *ethylene glycol* atau *propylene glycol*, ditunjukkan Gambar 2.10(a) dan struktur kimia dari UPR ditunjukkan Gambar 2.10(b). Polimer dilarutkan dalam monomer reaktif seperti stirena untuk menghasilkan cairan dengan viskositas rendah. Ketika ditambahkan *hardener* maka monomer stirena bereaksi dengan ikatan tak jenuh pada polimer dan berubah menjadi struktur termoset yang padat.



Gambar 2.10 (a) Proses reaksi kimia pembuatan resin poliester tak jenuh dan (b) struktur kimia UPR



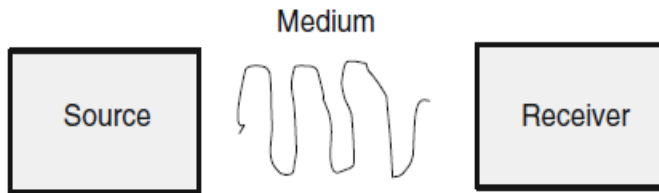
Proses reaksi pengeringan resin poliester dengan ditambahkan sedikit katalis metil etil keton peroksida (MEKP). Dengan penggunaan panas pada rentang temperatur antara 107°C – 163°C, katalis akan terdekomposisi dengan cepat, dimana bereaksi dengan molekul stiren dan memutus ikatan C=C. Kemudian stiren akan bergabung dengan molekul polyester pada titik jenuh dan membentuk struktur *cross-link* diantara molekul poliester tersebut. Hasilnya berupa poliester padat. Struktur crosslink memiliki keunggulan pada daya tahan yang lebih baik terhadap pembebanan statik dan impak. Hal ini disebabkan karena atom-atom karbon yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya. Kecepatan pengeringan dari resin poliester tergantung dari kecepatan dekomposisi katalis yang dapat meningkat dengan meningkatkan temperatur pengeringan (P. K. Mallick, 2007). Berikut adalah sifat dari poliester yang ditampilkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Sifat dari resin poliester tak jenuh (P. K. Mallic, 2007)

Sifat	Rentang Nilai
Densitas (g/cm ³)	1.1 – 1.43
Kekuatan tarik, MPa	34.5 – 103.5
Modulus	2.1 – 3.45
Elongasi %	1 – 5
HDT, °C	60 – 205
Cure shrinkage, %	5 - 12

2.10 Bunyi dan Gelombang Bunyi

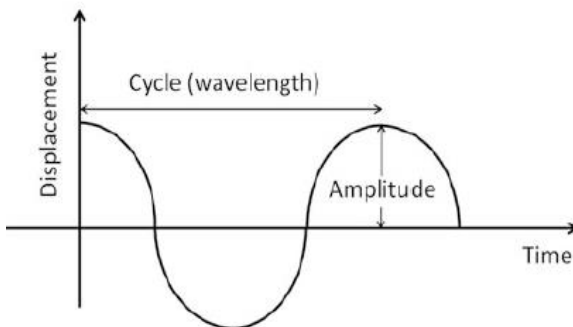
Segala jenis sumber vibrasi yang menggerakkan molekul udara menciptakan bunyi. Bunyi yang terdengar tergantung pada tiga hal yaitu sumber vibrasi yang membentuk gelombang bunyi, medium penghantar gelombang bunyi dan penerima yang mendeteksi bunyi. Bunyi adalah gelombang mekanik yang merambat melalui media elastis atau padat dengan kecepatan bergantung terhadap karakteristik medium. Sistem terjadi bunyi ditampilkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Sistem terjadi bunyi (Kadam, 2016)

Ketika bunyi bervibrasi menggerakkan partikel di udara atau medium lainnya, partikel akan berpindah dari posisinya dan menggantikan partikel di sekelilingnya. Partikel ini bergerak secara kontinu ke arah luar membentuk gelombang. Gelombang membawa energi bunyi menuju medium dan intensitas berkurang seiring bergerak menjauhi sumber. Energi bunyi adalah volume dari bunyi. Energi bunyi yang semakin tinggi menghasilkan volume yang keras.

Terdapat 3 aspek gelombang bunyi yang menyebabkan perbedaan hasil tipe bunyi : frekuensi, panjang gelombang dan amplitude. Gelombang bunyi bervibrasi pada frekuensi yang berbeda ketika bergerak melalui medium (Kadam, 2016). Gambar 2.12 menunjukkan diagram *sound displacement-time*.



Gambar 2.12 Diagram *sound displacement-time* (Kadam, 2016)



Bunyi identik dengan pergerakan gelombang di udara yang terjadi bila sumber bunyi mengubah partikel terdekat dari posisi diam menjadi partikel yang bergerak. Definisi bunyi menurut Bruel dan Kjaer (1986) merupakan hasil getaran dari partikel-partikel yang berada di udara, energi yang terkandung dalam bunyi dapat meningkat secara cepat dan dapat menempuh jarak yang sangat jauh.

Perambatan bunyi adalah fenomena gelombang. Sinyal akustik membutuhkan medium elastis untuk merambat dan tidak dapat merambat pada ruang vakum. Perambatan bunyi lebih cepat pada medium solid, kemudian liquid dan gas. Bunyi, dalam bentuk gelombang, merambat dengan kecepatan 331.29 m/s di udara kering pada temperatur 0°C (Kadam, 2016).

Bunyi terjadi karena adanya benda yang bergetar menimbulkan gesekan dengan zat disekitarnya. Sumber getaran dapat berupa objek yang bergerak dan dapat juga berupa udara yang bergerak. Getaran tersebut kemudian menyentuh partikel zat yang ada di dekatnya. Zat ini dapat berupa gas, cairan atau padatan. Partikel zat yang pertama kali tersentuh (yang paling dekat dengan objek) akan meneruskan energi yang diterimanya ke partikel sebelahnya. Demikian seterusnya partikel-partikel zat akan saling bersentuhan sehingga membentuk rapatan dan renggangan yang dapat digambarkan sebagai gelombang yang merambat.

Oleh karena itu, keberadaan zat disekitar objek yang bergetar sering kali disebut juga medium perambat gelombang bunyi. Meski objek yang bergetar, yang disebut sebagai sumber bunyi, telah berhenti bergetar, pada keadaan tertentu perambatan gelombangnya masih terus berjalan sampai pada jarak tertentu dari objek tersebut. Rambatan gelombang tersebut ditangkap oleh daun telinga. (Mediastika, 2005)

Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal yang terjadi karena perapatan dan perenggangan dalam medium gas, cair atau padat yang arah getarannya sejajar dengan arah perambatan gelombang. (Tipler, 1998)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Berdasarkan frekuensinya, gelombang bunyi dapat dibedakan menjadi tiga kategori yaitu:

- Gelombang infrasonik, yaitu gelombang dengan frekuensi <20 Hz
- Gelombang audiosonik, yaitu gelombang dengan frekuensi 20-20.000 Hz
- Gelombang ultrasonik, yaitu gelombang dengan frekuensi >20 kHz

Dari ketiga macam bunyi tersebut yang dapat didengar oleh telinga manusia adalah bunyi audiosonik. (Tipler, 1998)

2.11 Material Akustik

Menurut Lewis dan Douglas (1993) material akustik dapat dibagi ke dalam tiga kategori dasar: (1) material penyerap atau absorbing material, (2) material penghalang atau barrier material, (3) material peredam atau damping material.

Parameter yang digunakan untuk menjelaskan isolasi atau kemampuan menghentikan bunyi adalah koefisien transmisi (τ). Koefisien transmisi didefinisikan sebagai perbandingan daya bunyi yang ditransmisikan melalui suatu material terhadap daya bunyi yang datang. Semakin kecil nilai transmisinya, maka semakin bagus sifat isolasinya. Pada umumnya material penyerap secara alami bersifat resistif, berserat (fibrous), berpori (porous) atau dalam kasus khusus bersifat resonator aktif.

Ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap, maka energi bunyi sebagai akan diserap dan diubah menjadi panas. Besarnya penyerapan bunyi pada material penyerap dinyatakan dengan koefisien serapan (α). Koefisien absorpsi suara (α) dinyatakan dalam bilangan antara 0 sampai 1. Nilai koefisien serapan 0 menyatakan tidak ada energi bunyi yang diserap dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan serapan yang sempurna (Mediastika, 2005). Besarnya nilai koefisien absorpsi, secara matematis dinyatakan dengan persamaan berikut:

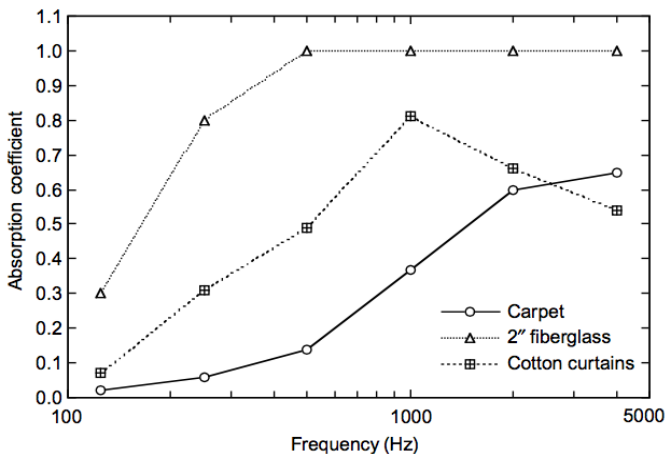
$$\alpha = \frac{\text{absorbed sound energy}}{\text{incident sound energy}} \dots\dots\dots(2.3)$$



Material penyerap terdiri dari dua jenis yaitu material penyerap berpori dan material penyerap resonant, dimana keduanya memiliki karakteristik yang berbeda dalam mekanisme penyerapan suara.

1. Penyerap Berpori

Bahan berpori seperti karpet, korden, foam, glasswool, rockwool, cellulose fiber, dan material lunak lainnya, menyerap energi suara melalui energi gesekan yang terjadi antara komponen kecepatan gelombang suara dengan permukaan materialnya. Bahan penyerap suara tipe ini akan menyerap energi suara lebih besar di frekuensi tinggi (Howard dan Angus, 2009). Tipikal kurva karakteristik penyerapan energi suaranya sebagai fungsi frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Zona frekuensi material penyerap berpori (Howard dan Angus, 2009)

2. Penyerap Resonant

Penyerap resonant seperti panel kayu, bekerja menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran, yang kemudian diubah menjadi



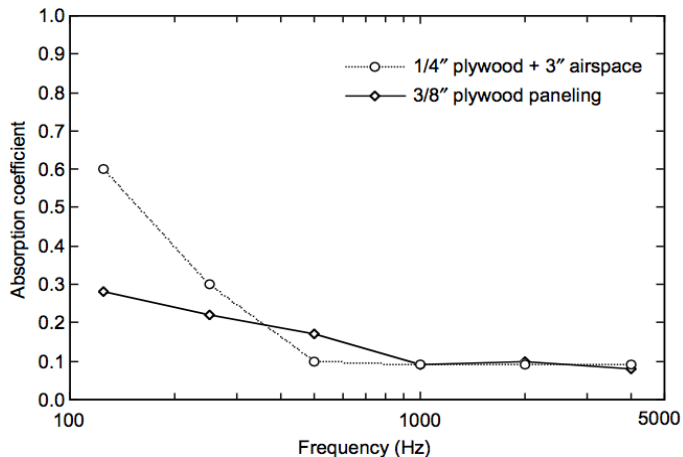
energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya. Material tipe ini lebih sensitive terhadap komponen tekanan dari gelombang suara yang datang, sehingga lebih efektif apabila ditempelkan pada dinding. Bahan penyerap tipe ini lebih dominan menyerap energi suara berfrekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman rongga udara dibaliknya (Howard dan Angus, 2009). Tipikal kurva karakteristik penyerapan energi suaranya sebagai fungsi frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 2.14. Secara matematis frekuensi resonant dapat dihitng dengan rumus :

$$F_{\text{resonant}} = \frac{60}{\sqrt{Md}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

M = massa panel per luas (in kg m⁻²)

d = kedalam rongga udara (in m)

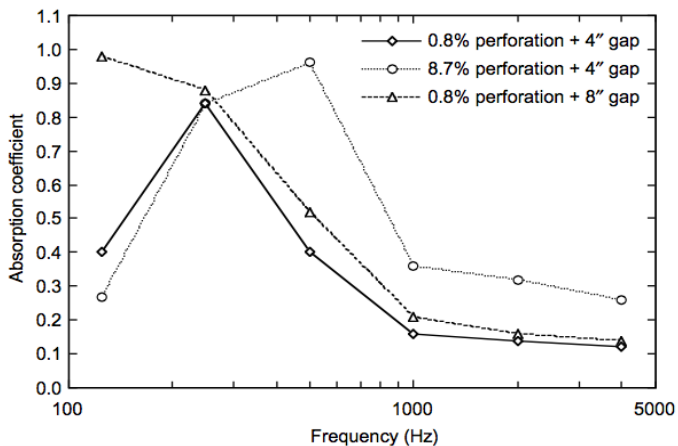


Gambar 2.14 Zona frekuensi material penyerap resonant
(Howard dan Angus, 2009)



3. Penyerap Resonant Helmholtz

Jenis lain dari penyerap resonant adalah resonator Helmholtz yang bekerja berdasarkan resonansi yang terjadi ketika adanya udara yang terperangkap di “pipa atau leher” diatas bidang berisi udara. Permukaan berlubang menjadi ciri utama resonator yang bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, leher dan volume ruang udaranya (Howard dan Angus, 2009). Tipikal kurva karakteristik penyerapan energi suaranya sebagai fungsi frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 2.15.

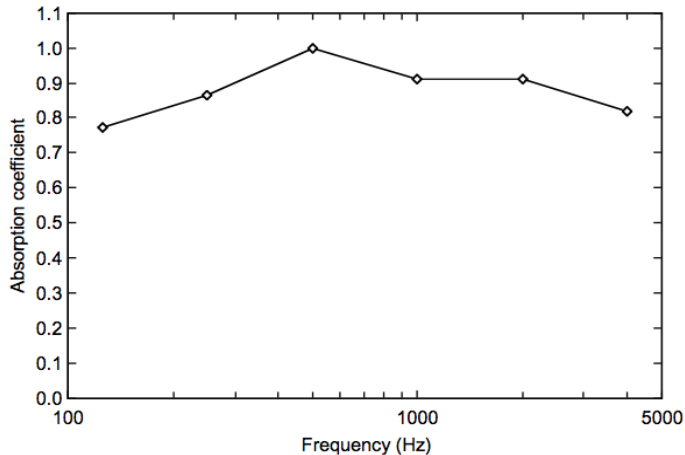


Gambar 2.15 Zona frekuensi tipe *helmholtz* (Howard dan Angus, 2009)

4. Penyerap Wideband

Apabila dibutuhkan sebuah material yang memiliki frekuensi kerja yang lebar (rendah, menengah dan tinggi), maka harus digunakan gabungan ketiga bahan penyerap suara tersebut. Kombinasi antara proses gesekan dari komponen kecepatan gelombang suara dan resonansi dari komponen tekanan gelombang suara akan membuat kinerja penyerapan energi suara oleh material besar untuk seluruh

daerah frekuensi (Howard dan Angus, 2009). Tipikal kurva karakteristik penyerapan energi suaranya sebagai fungsi frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Zona frekuensi tipe *wideband* (Howard dan Angus, 2009)

2.12 Material Absorpsi Bunyi

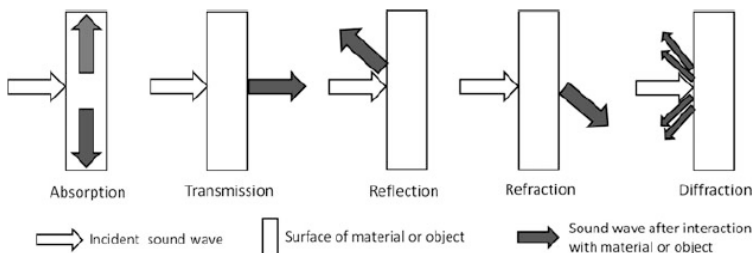
Material penyerap suara menyerap energi suara yang melewatinya membuat nya sangat berguna untuk mengontrol kebisingan. Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang telah ada. Pada tahun 1970-an, masalah kesehatan masyarakat membantu menemukan material utama bahan penyerap suara berbasis asbes untuk serat sintetis baru. Meskipun serat ini lebih aman bagi kesehatan manusia namun dapat berakibat pada pemanasan global. Produksi bahan sintetis berkontribusi pada emisi karbon dioksida, metana dan nitro oksida yang nantinya berbahaya pula bagi kesehatan manusia. Maka mulailah bermunculan penelitian penyerap suara yang memanfaatkan serat alami. (Lord HW, et al, 1987)

Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang ada, material ini memiliki sifat absorpsi yang bergantung pada frekuensi,



komposisi, ketebalan, kehalusan permukaan dan metode pembuatan. Namun biasanya material yang memiliki nilai koefisien penyerap suara yang tinggi adalah material berpori. Material penyerap berpori adalah material solid yang mengandung rongga sehingga gelombang suara dapat masuk melewatinya. Material penyerap berpori dapat diklasifikasikan sebagai selular, serat, dan granular pada konfigurasi mikroskopisnya. Material ini terdiri dari lubang kecil sebagai jalan masuknya gelombang suara. Sel *Polyurethane* dan *foam* adalah salah satu jenis dari material selular. Sementara material serat biasanya terdiri dari serat alami dan serat sintetis. Dan contoh dari *granular material* yaitu asphalt, tanah liat, pasir, tanah dan sebagainya. (Jorge P. Arenas dan Malcolm J. Crocker, 2010)

Gelombang bunyi berinteraksi dengan permukaan material atau objek dan dapat diabsorpsi, ditransmisikan, dipantulkan, dibiaskan atau difraksi bergantung pada jenis permukaan medium. Ketika semua gelombang bunyi yang dipancarkan diserap oleh material maka terjadi penyerapan bunyi. Material penyerap bunyi merupakan material berpori atau tipe resonan. Material penyerap bunyi berpori dibagi menjadi dua yaitu material berserat dan *open celled foams*. Material berserat mengkonversi energi bunyi menjadi energi panas ketika gelombang bunyi melalui material *absorber*. Interaksi gelombang bunyi dengan permukaan material atau objek ditampilkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Interaksi gelombang bunyi dengan permukaan material atau objek (Kadam, 2016)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



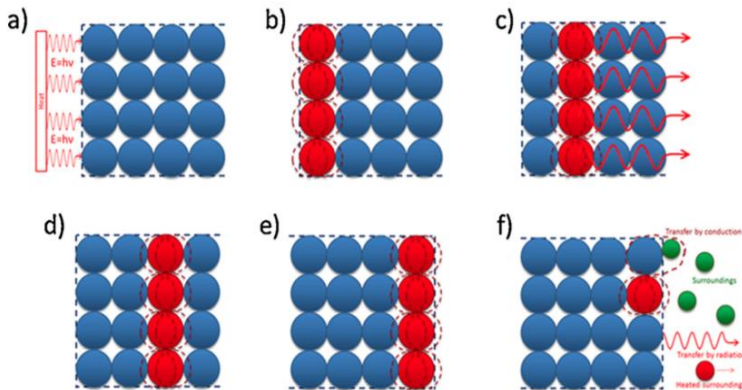
Transmisi adalah gelombang bunyi dari sumber bunyi yang merambat pada medium dan penerima tanpa adanya penyerapan atau pemantulan dan melewati penerima tanpa hilangnya frekuensi. Dipantulkan adalah ketika gelombang bunyi berbenturan dengan permukaan medium dan seluruh energi bunyi dipantulkan kembali tanpa mengubah karakteristiknya. Dibiaskan adalah gelombang bunyi merambat pada permukaan dan arah gelombang dibengkokkan setelah merambat dengan arah lurus. Difraksi adalah gelombang bunyi ketika berbenturan dengan medium, sebagian gelombang dipantulkan, sebagian merambat tanpa ada gangguan dan sebagian difraksi (Kadam, 2016).

2.13 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah perpindahan energi getar suatu partikel ke partikel lain yang berdekatan, umumnya dengan berbenturan. Perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi.

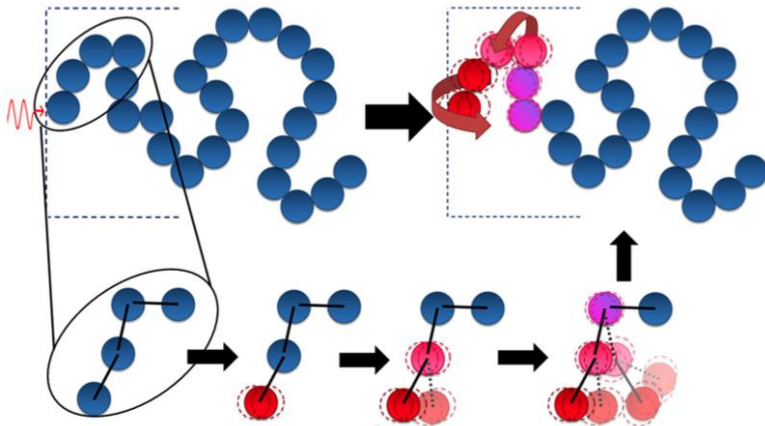
Pada umumnya material yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi adalah material kristalin, seperti intan, grafit, logam, silikon dan *glass-ceramic*. Mekanisme difusi panas berbeda antara polimer amorfus dan kristalin. Mekanisme konduktivitas panas pada material kristalin sebagai berikut dan ditampilkan pada Gambar 2.18:

- (a) Energi panas ditransmisikan ke atom pada permukaan dari sample.
- (b) Atom pada permukaan bergetar
- (c) Energi panas dari atom pada permukaan akan diteruskan ke atom lain yang berdekatan dengan kecepatan yang sama, dalam bentuk gelombang.
- (d) Energi panas berdifusi dengan sample
- (e) Energi panas berdifusi dengan cara bergetar hingga seluruh atom pada kristal
- (f) Ketika panas sudah mencapai sisi permukaan yang lain, panas akan diteruskan dengan konduksi atau radiasi ke sekitarnya.



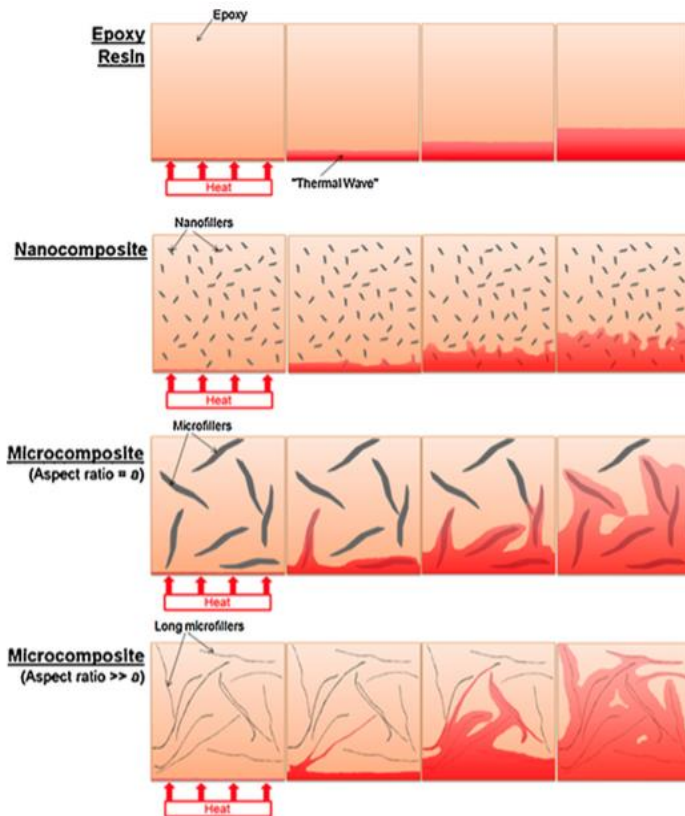
Gambar 2.18 Mekanisme konduktivitas termal pada material kristalin (N. Burger, 2016)

Mekanisme konduktivitas termal pada material amorfus yaitu panas akan mencapai atom pada permukaan atau monomer yang paling terdekat dengan sumber panas. Panas kemudian diteruskan ke atom lain yang berdekatan, hingga seluruh atom sudah menerima energi panas. Panas tidak merambat seperti gelombang, tetapi berdifusi lebih lambat menyebabkan atom bergetar dan berotasi tidak teratur dari posisi ekuilibrium. Gambar 2.19 adalah mekanisme konduktivitas termal material amorfus,



Gambar 2.19 Mekanisme konduktivitas termal pada material amorfus (N. Burger, 2016)

Ukuran dan aspek rasio *filler* juga menentukan nilai konduktivitas termal. Hal ini tidak berlaku pada material nanokomposit. Panas dengan cepat berdifusi melalui *filler* kristalin, dan kemudian akan melambat ketika melewati polimer. Semakin panjang ukuran *filler*, maka semakin tinggi nilai konduktivitas panas material dan sebaliknya (N. Burger, 2016).



Gambar 2.20 Mekanisme perpindahan panas pada komposit terhadap ukuran dan aspek rasio *filler* (N. Burger, 2016)

Salah satu parameter penting dalam meningkatkan nilai konduktivitas termal material yaitu penyebaran *filler*. Sebagian besar *filler* yang bercampur dengan matriks cenderung akan menggumpal, khususnya pada saat *curing* (Song et al, 2005).



2.14 Insulasi Termal

Perpindahan panas melalui benda padat disebut konduksi. Panas tersebut bergerak dari partikel yang lebih panas ke partikel yang lebih dingin. Perpindahan panas ini tidak menyebabkan perpindahan molekul benda. Kecepatan aliran panas pada suatu benda padat ditunjukkan dari nilai konduktivitas termal material tersebut. Semakin besar nilai konduktivitas termal suatu material maka material tersebut semakin baik dalam memindahkan panas, dan sebaliknya (Badrawada dan Agung, 2009).

Insulator termal mempunyai sifat konduksi panas yang buruk dan konduktivitas termal yang rendah. Insulasi pada bangunan dan proses manufaktur untuk mencegah hilangnya panas atau meningkatnya panas. Konduktivitas termal yang rendah diinginkan untuk mencapai ketahanan maksimum terhadap perpindahan panas.

Material insulasi termal diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu organik dan inorganik. Insulasi organik, menggunakan polimer hidrokarbon karena dapat diperluas untuk mendapatkan struktur *void* yang tinggi, contohnya adalah *expanded polystyrene* dan *polyurethane foam*. Insulasi inorganik menggunakan material yang mengandung *siliceous/aluminous/calcium* dalam bentuk serat, butir atau serbuk. Contoh material inorganik adalah *mineral wool* dan *calcium silicate* (A. Bahadori, 2014).

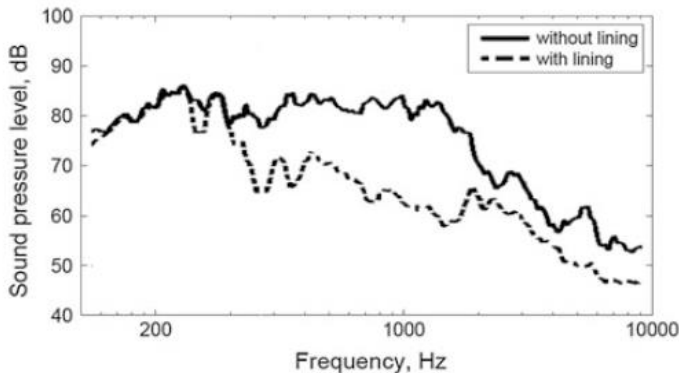
Material insulasi termal adalah material yang memiliki konduktivitas termal yang rendah (Betha dkk, 2000). Menurut Diamant material insulasi termal yang baik adalah material yang memiliki banyak *void*. Pada *void* terdapat udara yang terjebak sehingga dapat menahan aliran kalor (Diamant, 1986).

2.15 Aplikasi

Berbagai sumber kebisingan dalam kendaraan dibedakan menjadi dua yaitu *structure borne* dan *airborne*. Sumber utama kebisingan dan vibrasi pada kendaraan meliputi sistem pembangkit (mesin, kipas pendingin, *gearbox*, transmisi, rem dan sistem pembuangan) dan pergerakan kendaraan (interaksi ban dengan



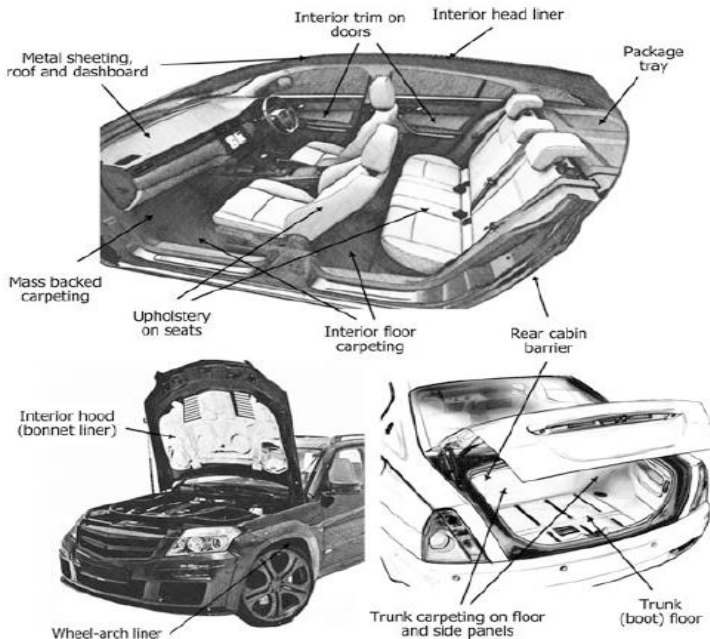
jalan dan aerodinamis). Pada umumnya, *structure borne* merupakan sumber kebisingan dalam kendaraan yang dominan pada frekuensi di bawah 400 Hz dan *airborne* dominan pada frekuensi di atas 400 Hz. Respon frekuensi di dalam kabin kendaraan ditampilkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Respon frekuensi di dalam kabin kendaraan dengan dan tanpa lapisan penyerap suara (Arenas, 2016)

Sound pressure level dalam kendaraan dapat dikontrol dengan mengurangi kebisingan yang dihasilkan oleh berbagai macam sumber dengan mengurangi kebisingan selama perjalanan melalui *airborne* dan *structure borne*. Reduksi kebisingan pada kendaraan dapat dicapai dengan adanya peredam mekanik untuk panel yang strukturnya bergetar, khususnya pada frekuensi resonansi. Lapisan material peredam memberikan massa sehingga mengurangi bunyi *airborne* yang merambat seperti *floor panel*. Absorpsi suara juga dapat mengurangi kebisingan yang dihasilkan bunyi *airborne* dan *structure borne* yang masuk ke dalam kabin mobil. Absorpsi suara digunakan pada permukaan *interior* kendaraan seperti *headliner*, *door casing*, karpet, dll (Arenas, 2016). Gambar 2.22 menunjukkan bagian mobil yang digunakan sebagai material penghalang atau penyerap suara.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.22 Bagian mobil yang dipergunakan sebagai material penghalang dan penyerap suara (Arenas, 2016)

Pada kendaraan mobil penumpang, kebisingan dibedakan menjadi dua kategori yaitu:

1. Kebisingan : bunyi yang dapat didengar pada rentang frekuensi antara 30 – 4000 Hz
2. Vibrasi : pada rentang frekuensi antara 30 – 200 Hz

Ada 3 kontributor utama pada kebisingan pada kabin kendaraan yaitu mesin dan aksesoris, interaksi ban dengan jalan dan angin. Tranmisi kebisingan ke dalam *interior* terjadi melalui *airborne waves* dan *structure borne vibration*. Bunyi *airborne* berasal dari sumber eksternal dan menjalar ke dalam *interior* kendaraan melalui lubang pada hasil las, *seal* pintu, dll. Bunyi *airborne* menjalar pada frekuensi tinggi yaitu 80% kebisingan diatas 1000 Hz. Bunyi *structure borne*, merupakan hasil dari



vibrasi mekanik yang menyebabkan pergeseran lokal di udara. Hal ini terjadi pada frekuensi rendah yaitu 85% kebisingan dibawah 500 Hz (Cameron, 2009).

Studi yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa nilai resonan 63 – 200 Hz pada kursi pengemudi dan 100 – 150 Hz pada kursi penumpang. Sementara nilai *sound pressure level* di luar kendaraan yaitu 60 – 120 dBA (Ford, 1970).

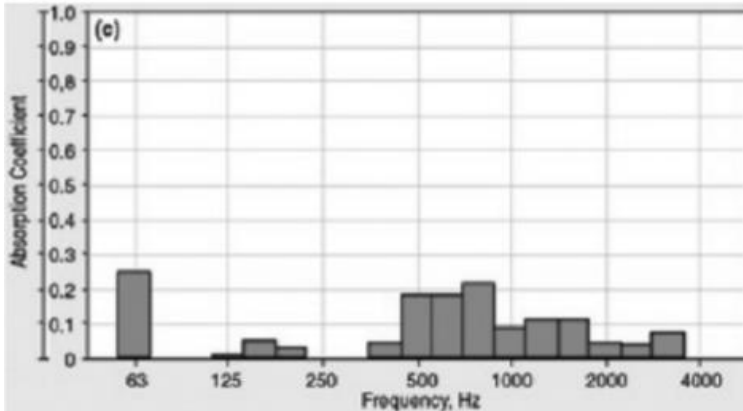
Dalam dunia otomotif banyak digunakan material komposit sebagai pengganti logam. Dalam hal ini dibagi menjadi ke dalam 3 bagian yaitu: komponen body, chasis dan bagian mesin. Secara umum diaplikasikan pada *door panel* dengan reinforcement berupa *fiberglass* dan matriks berupa *polyester* resin dengan proses menggunakan *sheet molding compound* (SMC) atau *compression molding*. (Courtesy of Molded Fiber Glass and American Composites Alliance, 2007)

Door panel dalam adalah komponen yang digunakan untuk memperkuat perakitan pintu dan merupakan salah satu komponen yang paling penting di mana semua aksesoris dapat dipasang seperti engsel dan kaca. Door panel dalam bagian depan digunakan untuk menyegel tujuan ketika ambang utama dipasang. Berat door panel dalam sekitar 7 sampai 8 kg tergantung pada bahan dan ketebalannya.

Dalam pembuatan door panel, terdapat standar pada sifat fisik, mekanik dan nilai absorpsi suara. Menurut Marks (2008), densitas door panel yang dibutuhkan pada interior mobil biasanya berkisar antara 1,05-1,15 g/cm³. Menurut Gardiner (2013), standar untuk modulus kelenturan pada door panel bervariasi pada kisaran 18-33 MPa. Produk yang diuji antara lain: Wood-Stock® (18 MPa), Tecnogor® natural fiber (23 MPa), Tecnogor® mineral fiber (26 MPa) dan Gornaf® (33 MPa). Gambar 2.13 menunjukkan koefisien estimasi penyerapan rata-rata dalam pita 1/3 oktaf untuk door panel-jendela mobil. Door panel-jendela mobil menunjukkan koefisien penyerapan suara cukup rendah sepanjang seluruh rentang frekuensi yang diselidiki. Pengujian dilakukan pada mobil diesel Volvo S60 yang mana menghasilkan koefisien absorpsi suara

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

sebesar 0,3. Estimasi koefisien penyerapan suara pada door panel ditunjukkan pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Estimasi koefisien penyerapan suara pada door panel (Mørkholt, 2011)

Dalam pengaplikasian bagian kendaraan diperlukan standar nilai yang sesuai dengan desain untuk meningkatkan kenyamanan bagi pengemudi maupun penumpang. Komposisi material dan sifat mekanik dari bagian kabin kendaraan ditunjukkan oleh Gambar 2.24.



IDP	Name	IDM	δ [mm]
1	Windshield	FE-1	5
2	Rear window	FE-2	4
3,4	Side windows L,R	FE-2	4
5,6	Side pillars L,R	FE-3	20
7,8	Side doors L,R	FE-3	20
9,10	Roof (Sunroof)	FE-4	35
11	Floor	FE-5	30
12	Firewall	FE-6	20
13,14	Dashboard up., lo.	FE-7	20
15,16	Front seat L,R	FE-8	160
17	Rear seat	FE-8	160
18	Rear shell	FE-9	4

(a)

IDM	ρ [kg/m ³]	k [W/mK]	c [J/kgK]	α [-]	t [-]	ε [-]
FE-1	2400	0.6	830	0.43	0.52	0.8
FE-2	2500	0.9	800	0.39	0.55	0.8
FE-3	1100	0.13	580	0.78	0	0.85
FE-4	270	0.054	560	0.78	0	0.85
FE-5	480	0.041	800	0.78	0	0.85
FE-6	600	0.042	860	0.8	0	0.85
FE-7	800	0.0001	1700	0.95	0	0.85
FE-8	320	0.035	1300	0.8	0	0.85
FE-9	1100	0.035	1300	0.8	0	0.85

(b)

Gambar 2.24 (a) Komposisi material dan (b) database material

2.16 Hukum Pencampuran

Total massa dari komposit ialah jumlah dari massa *filler* dan matriks, dituliskan dengan persamaan :

$$m_c = m_m + m_f \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\rho_c \cdot V_c = \rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m \dots\dots\dots(2.6)$$

sehingga didapatkan massa jenis dari komposit :

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



$$\rho_c = \frac{\rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m}{V_c} \dots\dots\dots(2.7)$$

apabila diubah ke dalam fraksi massa, persamaannya menjadi :

$$\rho_c = \frac{1}{\left(\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m}\right)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Selain itu, untuk mempermudah perhitungan dari fraksi volume ataupun fraksi beratnya dapat dituliskan dengan persamaan :

$$M_f + M_m = 1 \dots\dots\dots(2.9)$$

$$V_f + V_m + V_v = 1 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- m_c = massa komposit (gr)
- ρ_c = massa jenis komposit (gr/cm³)
- V_c = volume komposit (cm³)
- m_f = massa filler (gr)
- ρ_f = massa jenis filler (gr/cm³)
- V_f = volume filler (cm³)
- m_m = massa matriks (gr)
- ρ_m = massa jenis matriks (gr/cm³)
- V_m = volume matriks (cm³)
- M_f = fraksi massa filler
- M_m = fraksi massa matriks
- V_f = fraksi massa filler
- V_m = fraksi massa matriks
- V_v = fraksi massa void

2.17 Penelitian Terdahulu

Telah banyak penelitian mengenai pengaplikasian komposit dengan menggunakan serat alam sebagai material penyerap suara. Komposit polyester berpenguat bambu-rami dengan aspek rasio



90, nilai α serat rami mencapai 0.836 pada frekuensi 125 Hz. Serat bambu mencapai nilai α 0.972 pada frekuensi 1000Hz. Terdapat kenaikan secara signifikan nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 125 Hz untuk material poliester berpenguat serat rami dan pada frekwensi menengah 1000 Hz untuk material poliester berpenguat serat bambu. (Farid dan Hosta, 2015).

Penelitian Farid dan Tri (2013) mengatakan bahwa komposit poliester berpenguat serat ramie pada frekuensi 1255 Hz memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0.835.

Komposit *silicon rubber* berpenguat serat mikro selulosa dan nano selulosa. Pada frekuensi rendah 125 Hz, nilai koefisien absorpsi suara SR Berpori murni sebesar 0,152 dan komposit SR Berpori/mikro selulosa 2, 4, dan 6% berturut-turut sebesar 0,192; 0,175 dan 0,233. Sedangkan nilai koefisien absorpsi suara pada komposit SR Berpori/nano selulosa 2, 4 dan 6% secara berturut-turut sebesar 0,150; 0,151 dan 0,183. Dimana nilai koefisien absorpsi suara terbaik untuk frekuensi rendah 125 Hz adalah pada komposit SR Berpori/Mikro selulosa 6% yaitu sebesar 0,233. Pada frekuensi tinggi 4000 Hz, nilai koefisien absorpsi suara SR Berpori murni sebesar 0,431 dan komposit SR Berpori/mikro selulosa 2, 4 dan 6% berturut-turut sebesar 0,426; 0,425 dan 0,421. Sedangkan nilai koefisien absorpsi suara pada komposit SR Berpori/nano selulosa 2, 4 dan 6% secara berturut-turut sebesar 0,419; 0,414 dan 0,425. Dimana nilai koefisien absorpsi suara terbaik adalah pada SR Berpori murni yaitu sebesar 0,431 (Rosidah dan Farid, 2017).

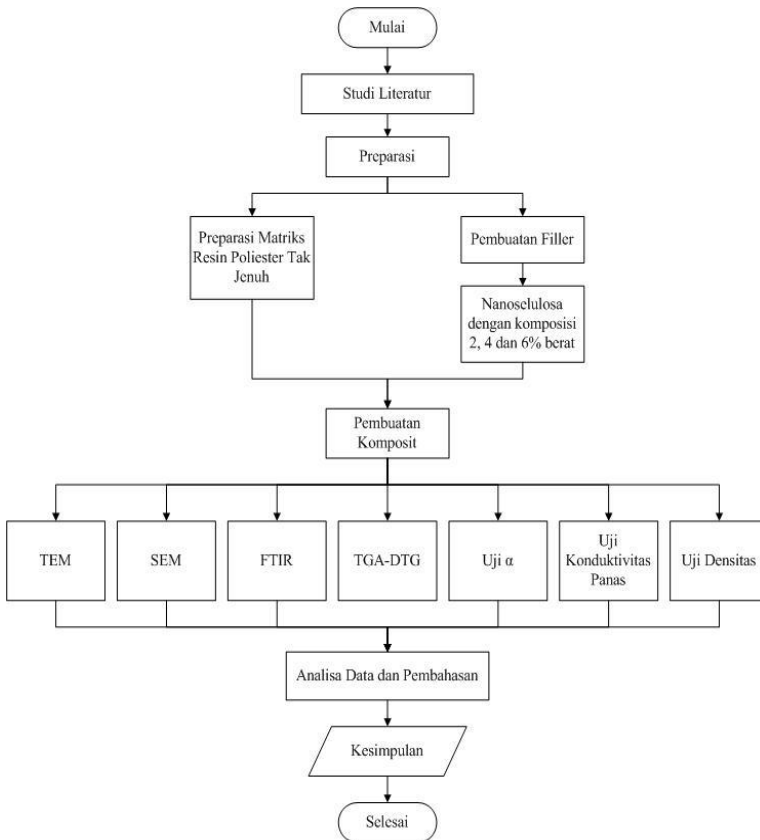


BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

3.1.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi serat nanoselulosa terhadap koefisien absorpsi suara dan konduktivitas termal komposit resin poliester tak jenuh atau *unsaturated polyester resin (UPR)* berpenguat serat nanoselulosa. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat nanoselulosa, resin poliester tak jenuh, metil etil keton peroksida dan stiren monomer. Serat nanoselulosa didapatkan dari serat tandan kosong kelapa sawit yang dilakukan tiga tahap perlakuan kimia yaitu alkalisasi, *bleaching* dan hidrolisis. Komposisi yang digunakan sebagai variabel dalam komposit UPR berpenguat serat nanoselulosa yaitu 2, 4 dan 6% berat. Setelah menjadi komposit, dilakukan 7 pengujian untuk mendukung tujuan penelitian ini yaitu pengujian TEM, SEM, FITR, TGA-DTG, densitas, absorpsi suara (α) dan konduktivitas termal (k).



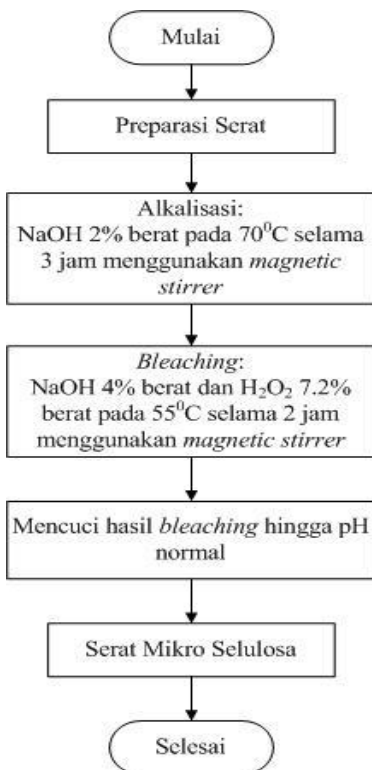
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1.2 Diagram Alir Sintesis Serat Mikro Selulosa

Gambar 3.2 menunjukkan diagram alir pada proses sintesis serat mikro selulosa dari serat TKKS. Sintesis dari serat tandan kosong kelapa sawit menjadi serat mikro selulosa terdiri dari dua tahap perlakuan kimia yaitu alkalisasi dan *bleaching*. Proses alkalisasi bertujuan untuk menghilangkan lignin dengan menggunakan larutan NaOH. *Bleaching* dengan campuran H₂O₂ dan NaOH bertujuan untuk menghilangkan lignin sisa dari proses



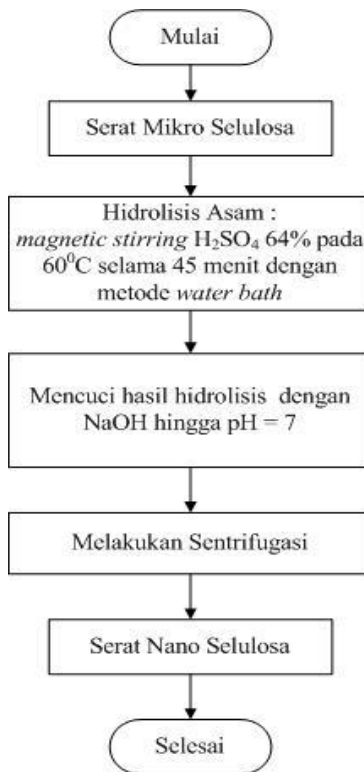
alkalisasi. Serat tandan kosong kelapa sawit direndam di dalam larutan pada setiap tahap perlakuan kimia.



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan serat mikro selulosa

3.1.3 Diagram Alir Sintesis Serat Nanoselulosa

Gambar 3.3 menunjukkan diagram alir pada proses sintesis nanoselulosa dari serat TKKS. Sintesis dari serat mikro selulosa menjadi serat nanoselulosa terdiri dari satu tahap proses kimia yaitu hidrolisis asam. Hidrolisis asam menggunakan asam sulfat (H₂SO₄) 64 wt% dengan metode *water bath*.



Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan serat nanoselulosa

3.1.4 Diagram Alir Pembuatan Komposit

Gambar 3.4 adalah diagram alir dalam pembuatan komposit poliester berpenguat serat nano selulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit. Metode untuk pencampuran matriks dan *filler* menggunakan *mechanical blending*. Proses *mechanical blending* dilakukan dengan kecepatan 40 rpm selama 3 menit.



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan komposit

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5 sampai Gambar 3.12 yaitu :

1. Tandan kosong kelapa sawit

Kelapa sawit dengan nama latin *Elaeis guineensi* diperoleh dari PT. Intan Sejati Andalan. Kelapa sawit tumbuh di Dumai, Riau dengan umur 6 tahun.



(a)



(b)

Gambar 3.5 (a) Tandan kosong kelapa sawit (TKKS), (b) serat TKKS

2. Aquades

Aquades diperoleh dari PT. BRATACO, Surabaya.



Gambar 3.6 Aquades

3. Natrium hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida adalah sejenis basa logam kaustik. NaOH terbentuk dari oksida basa natrium oksida dilarutkan dalam air. NaOH membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan dalam air. NaOH diperoleh dari PT. BRATACO, Surabaya.



Gambar 3.7 NaOH

4. Hidrogen peroksida (H_2O_2)

Hidrogen peroksida merupakan oksidator kuat yang terbentuk dari gas hidrogen dan gas oksigen. H_2O_2 diperoleh dari PT. BRATACO, Surabaya.



Gambar 3.8 H_2O_2

5. Asam sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. H_2SO_4 diperoleh dari UD. Sumber Ilmiah Persada.



Gambar 3.9 H_2SO_4

6. Resin poliester tak jenuh (UPR)

Resin poliester tak jenuh adalah resin sintetik tak jenuh yang terbentuk dari reaksi asam organik dan alkohol polihidrat. UPR diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya, Surabaya.



Gambar 3.10 Resin poliester tak jenuh

7. Katalis metil etil keton peroksida (MEKP)

Metil etil keton peroksida adalah peroksida organik yang digunakan sebagai katalis. MEKP yang memiliki rumus kimia $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_6$ diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya, Surabaya.



Gambar 3.11 Metil etil keton peroksida

8. Stiren monomer (SM)

Stiren monomer adalah suatu senyawa monomer aromatis paling sederhana dengan rumus kimia $C_6H_5C_2H_3$. SM diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya, Surabaya.



Gambar 3.12 Stiren monomer

3.2.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Timbangan digital
Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan yang digunakan
2. Penggaris
Penggaris digunakan untuk mengukur dimensi specimen



3. *Cutter*
Cutter digunakan untuk melepaskan spesimen dari cetakan
4. Cetakan
Cetakan digunakan untuk mencetak spesimen uji
5. Gelas beker
Gelas beker digunakan untuk mencampurkan larutan
6. Spatula
Spatula digunakan untuk mengaduk larutan
7. Kertas pH meter
Kertas pH meter digunakan untuk mengukur pH
8. Oven
Oven digunakan untuk mengeringkan serat
9. Blender
Blender digunakan untuk mencacah serat
10. Mesin pengayak
Mesin pengayak yang digunakan yaitu Fritsch Analysette 3 milik Laboratorium Fisika Material, Departemen Teknik Material FTI ITS. Ayakan yang digunakan memiliki diameter 112, 140 dan 240 μm . Proses pengayakan dilakukan dengan amplitudo sebesar 1.5 selama 20 menit.



Gambar 3.13 Mesin pengayak



11. *Stirring Hotplate*

Stirring hotplate yang digunakan yaitu Cimarec™, milik Laboratorium Inovasi Material, Departemen Teknik Material FTI ITS.



Gambar 3.14 *Stirring hotplate*

12. *Centrifuge*

Centrifuge yang digunakan yaitu Jouan centrifuge type E-82, milik Laboratorium Limbah Padat dan B3, Departemen Teknik Lingkungan FTSP ITS. Proses sentrifugasi dilakukan dengan kecepatan ± 5000 rpm selama 15-20 menit.



Gambar 3.15 *Alat centrifuge*



13. Alat uji absorpsi suara

Alat uji absorpsi suara milik Laboratorium Akustik Material, Departemen Teknik Fisika FTI ITS.



Gambar 3.16 Alat uji absorpsi suara

14. Alat uji SEM

Alat uji SEM yang digunakan yaitu FEI Inspect S50 milik Departemen Teknik Material FTI ITS.



Gambar 3.17 Alat uji SEM

15. Alat uji TEM

Alat uji TEM yang digunakan yaitu JEOL JEM-1400 milik Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Gadjah Mada.



Gambar 3.18 Alat uji TEM

16. Alat uji TGA

Alat uji TGA yang digunakan yaitu PerkinElmer STA-5000 milik Laboratorium Uji, Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

17. Alat uji FTIR

Alat uji FTIR yang digunakan yaitu Nicolet iS10 milik Departemen Teknik Material FTI ITS.



Gambar 3.19 Alat uji FTIR



18. Alat uji konduktivitas termal

Alat uji konduktivitas termal yang digunakan yaitu HVS-40-200 SF, Ogawa Seiki Co. Ltd milik Laboratorium Perpindahan Kalor, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.



Gambar 3.20 Alat uji konduktivitas termal

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbandingan komposisi massa filler dengan komposisi sebesar 2, 4 dan 6%.

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Untuk dapat melaksanakan pengujian, terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan. Persiapan bahan ini yang sangat penting untuk dilakukan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan dapat mempengaruhi hasil dari analisa dan pembahasan yang kita lakukan.

3.4.1.1 Pengolahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tahapan pengolahan serat tandan kosong kelapa sawit menjadi serat nano selulosa :



1. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dijemur selama ± 1 hari
2. Mengambil serat dari TKKS dan membersihkan pengotor dengan air bersih
3. Serat dikeringkan dalam oven pada temperature 60°C selama 12 jam
4. Melakukan *mechanical crushing* dengan blender hingga ukuran $280\ \mu\text{m}$
5. Melakukan *sieving* dengan *sieving machine* hingga ukuran $<112\ \mu\text{m}$
6. Melakukan proses alkalisasi pada serat dengan NaOH 2 wt% selama 3 jam pada temperature 70°C menggunakan *magnetic stirrer* pada 7-9 rpm
7. Melakukan proses *bleaching* dengan NaOH 4 wt% dan H_2O_2 7,2 wt% pada temperature 55°C selama 2 jam
8. Hasil *bleaching* berupa serat mikro selulosa
9. Melakukan proses hidrolisis asam dengan menggunakan H_2SO_4 64 wt% pada temperature 40°C dengan menggunakan metode *water bath*
10. Mencuci hasil rendaman dengan NaOH sampai pH = 7
11. Melakukan sentrifugasi dengan alat *centrifuge* pada 5000 rpm selama 15-20 menit
12. Hasil pencucian dikeringkan pada 55°C yang berupa serat nano selulosa.

3.4.1.2 Pembuatan Komposit

Tahapan pencampuran matriks dan *filler* dalam pembuatan komposit UPR berpenguat serat nano selulosa :

1. Pembuatan spesimen dilakukan dengan menimbang massa resin poliester tak jenuh dan stiren monomer sesuai rasio yang telah ditentukan.
2. Setelah itu menimbang massa serat nanoselulosa dengan fraksi yang ditentukan.
3. Serat yang telah ditimbang lalu dimasukkan ke dalam campuran resin poliester tak jenuh dan stiren monomer



- sesuai rasio yang telah ditentukan, kemudian diaduk hingga homogen.
4. Mengaduk campuran serat nanoselulosa dengan resin poliester tak jenuh dengan metode *mechanical stirring* selama 3 menit dengan kecepatan 40 rpm.
 5. Menambahkan katalis MEKP sebanyak 1% wt dan diaduk kembali hingga homogen.
 6. Menuangkan campuran ke cetakan dengan metode penuangan dan membiarkan hingga *curing*.
 7. Spesimen dikeluarkan dari cetakan.
 8. Spesimen disesuaikan dimensinya dengan standar pengujian.



(1 dan 2)



(3)



(4)



(5)



(6)

Gambar 3.21 Tahapan pembuatan komposit

3.4.1.3 Cetakan

Cetakan komposit UPR berpenguat serat nano selulosa yang digunakan disesuaikan dengan standar pengujian setiap alat uji :

1. Untuk cetakan uji absropsi suara terbuat dari aluminium dengan diameter 100 mm dan tinggi 50 mm.
2. Untuk cetakan uji konduktivitas termal terbuat dari stainless steel dengan diameter 50 mm dan tinggi 40 mm.



3. Dibuat cetakan uji SEM, TGA, FTIR, densitas dengan ukuran 10 x 10 x 10 mm terbuat dari galvalum.



Gambar 3.22 Cetakan

3.4.2 Proses Pengujian

3.4.2.1 Pengujian Densitas

Uji densitas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM D792 yaitu dengan perhitungan massa spesimen dalam udara dan dalam air masing-masing spesimen komposit. Proses pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.23. Perhitungannya adalah dengan mencari *specific gravity* terlebih dahulu yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$sp\ gr\ 23/23^{\circ}C = a/(a + w - b) \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana:

a = massa spesimen, tanpa *wire* atau *sinker* di udara

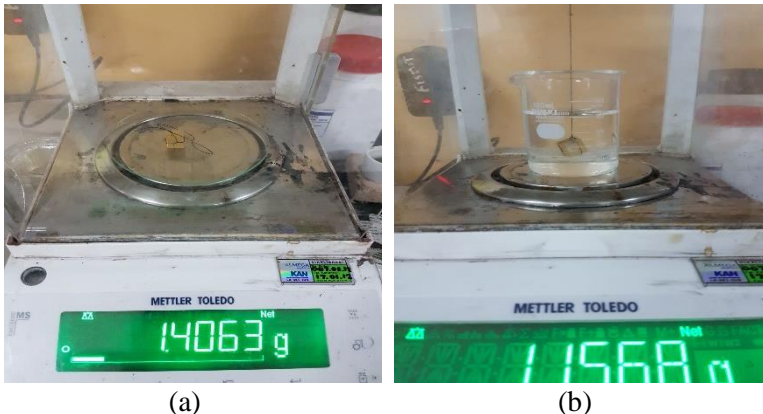
b = massa spesimen, saat tercelup semua ke dalam air atau larutan lain

sp = *specific gravity*

w = massa total *wire* atau *sinker* yang tercelup

setelah mendapat *specific gravity*, kita dapat menghitung densitas dengan perhitungan sebagai berikut :

$$D^{23C}, \text{ kg.m}^3 = \text{sp gr } 23/23^{\circ}\text{C} \times 997.5 \dots\dots\dots(3.2)$$



Gambar 3.23 Pengujian densitas (a) spesimen ditimbang di udara (b) specimen ditimbang dalam air

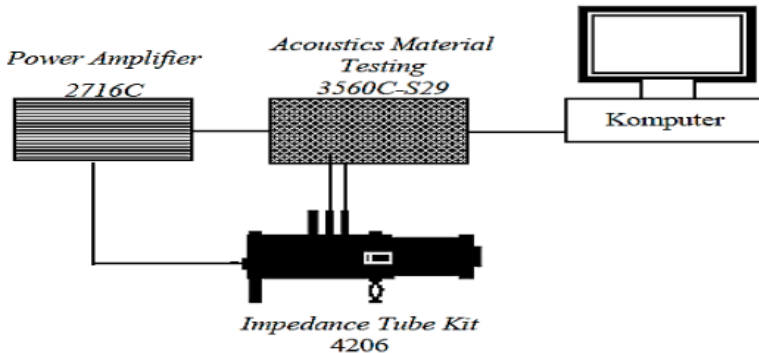
3.4.2.2 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara

Pengujian absorpsi suara adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk menyerap suara. Kualitas material penyerap suara ditentukan dari harga koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi (α). Semakin besar nilai α maka semakin baik kemampuan material tersebut dalam menyerap suara. Rentang nilai koefisien α yaitu dari 0 sampai 1. Jika α bernilai 0 maka tidak ada bunyi yang diserap oleh material tersebut sedangkan jika α bernilai 1 maka 100% bunyi yang datang diserap oleh material tersebut.

Peralatan yang digunakan untuk mengukur koefisien absorpsi suara adalah tabung impedansi dengan standarisasi menurut ASTM E1050. Prinsip pengujian koefisien absorpsi suara adalah spesimen yang berbentuk lingkaran dimasukkan ke dalam bagian kepala tabung impedansi kemudian diatur frekuensi suara

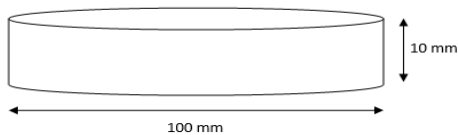


pada amplifier dengan frekuensi 125 Hz, maka *speaker* akan memberikan suara ke dalam tabung impedansi dan *sound level meter*. Berikut ini rangkaian alat tabung impedansi untuk mengukur uji penyerapan suara.



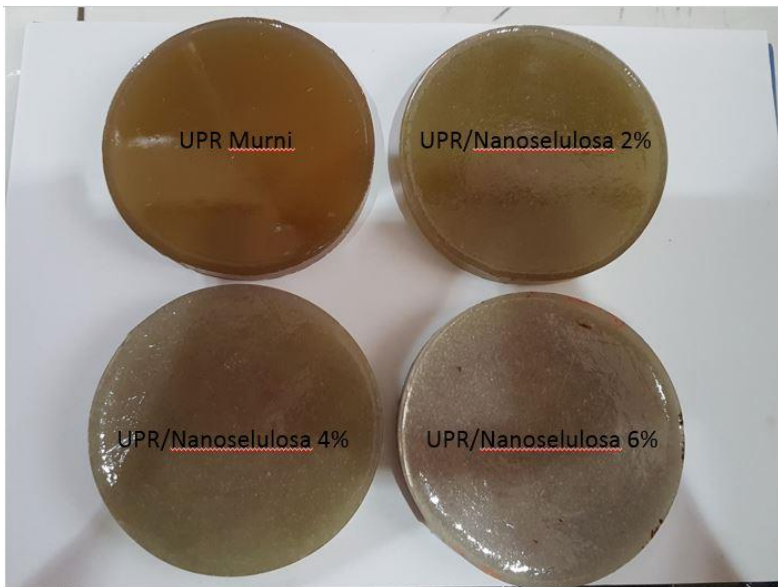
Gambar 3.24 Rangkaian alat uji absorpsi suara

Dimensi spesimen berbentuk tabung dengan diameter 100 mm dan tinggi 10 mm, yang ditunjukkan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Dimensi spesimen uji absorpsi suara

Spesimen uji absorpsi suara komposit UPR berpenguat nanoselulosa ditunjukkan pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Spesimen uji absorpsi suara

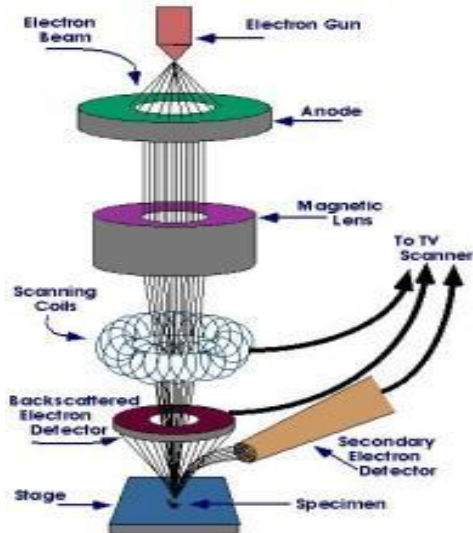
3.4.2.3 Pengujian SEM

Scanning electron microscope (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang memanfaatkan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola *raster scan* sehingga dapat menampilkan morfologi sampel. Sebelum diuji, sampel dilengketkan pada *holder* dengan menggunakan selotip karbon *tape*. Sampel dimasukkan ke dalam alat pelapis autofine-coater JFC-1100 untuk melapisi sampel dengan lapisan tipis Au-Pd (80:20). Lalu sampel dimasukkan dalam *specimen chamber* pada alat SEM.

Cara kerja SEM, ditunjukkan pada Gambar 3.27 adalah pertama-tama dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melawati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary*

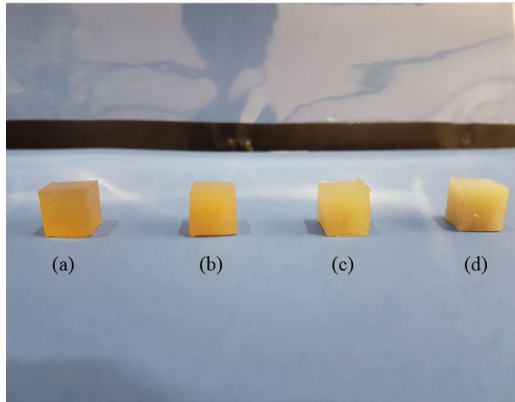


electron detector yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display.



Gambar 3.27 Prinsip kerja SEM (Jiming Zhou, 2000)

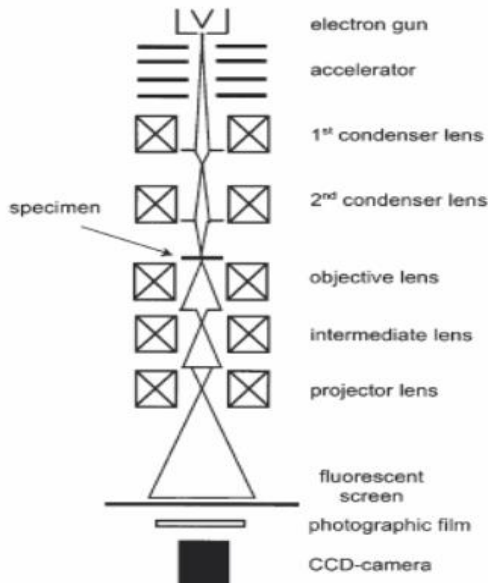
Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Alat uji SEM yang digunakan adalah FEI INSPECT S50 dan standar yang digunakan adalah ASTM E986 - 04, dengan spesimen uji yang ditunjukkan pada Gambar 3.28.



Gambar 3.28 Spesimen SEM komposit UPR/Nanoselulosa dengan komposisi massa filler (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%

3.4.2.4 Pengujian TEM

Transmission electron microscopy (TEM) memiliki prinsip kerja seperti pada Gambar 3.29 yaitu pertama-tama elektron ditembakkan dari *electron gun*, yang kemudian melewati dua lensa condenser yang berguna untuk menguatkan elektron. Setelah itu elektron diterima dan berinteraksi dengan spesimen dan kemudian diteruskan pada tiga lensa yaitu lensa objektif, lensa intermediate dan lensa proyektor. Lensa objektif merupakan lensa utama dari TEM karena batas penyimpangannya membatasi dari resolusi mikroskop, lensa intermediate sebagai penguat dari lensa objektif dan untuk lensa proyektor berguna untuk menggambarkan pada layar fluorescent yang ditangkap kamera CCD. Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikel.



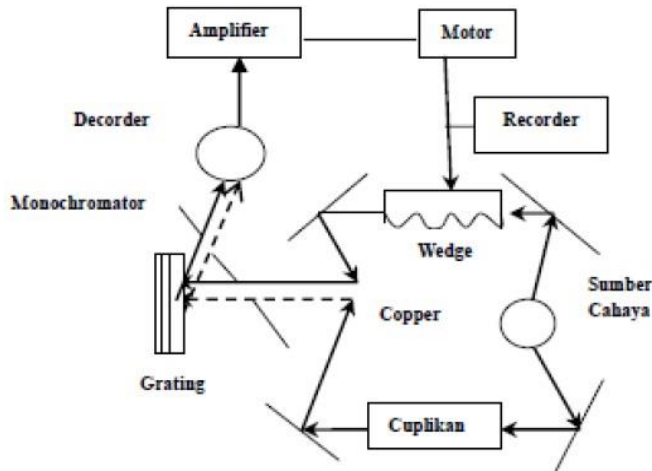
Gambar 3.29 Skema TEM (Karlik M, 2001)

3.4.2.5 Pengujian FTIR

Fourier transform infrared (FTIR) adalah instrumen yang digunakan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang terjadi. Cara kerja FTIR yaitu pertama-tama zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati *chopper*. Setelah melewati prisma atau grating, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder. Selanjutnya diperlukan amplifikasi bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah.

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia pada sampel. Standar yang digunakan adalah ASTM E1252 dan mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10. Sistem kerja FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.30.

BAB III METODOLOGI



Gambar 3.30 Skema uji FTIR (Jiping Zhou, 2000)

3.4.2.6 Pengujian Konduktivitas Termal

Thermal conductivity measuring apparatus adalah alat untuk mengukur konduktivitas material. Prinsip dari alat ini adalah membuat perbedaan temperatur antara kedua ujung material. Salah satu ujungnya diberikan panas, sedangkan ujung lainnya dipertahankan temperaturnya dengan mengalurkan air pendingin. Skema alat uji konduktivitas termal ditunjukkan pada Gambar 3.31.

Pengukuran konduktivitas termal adalah untuk mengetahui peristiwa perpindahan panas secara konduksi, sehingga dengan mengetahui besarnya konduktivitas termal dari suatu bahan (material) maka dapat diperkirakan aplikasi material tersebut.

$$k = \frac{\Delta W}{\Delta t} \times \frac{L}{A \Delta T} \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana:

k = konduktivitas termal (W/mK)

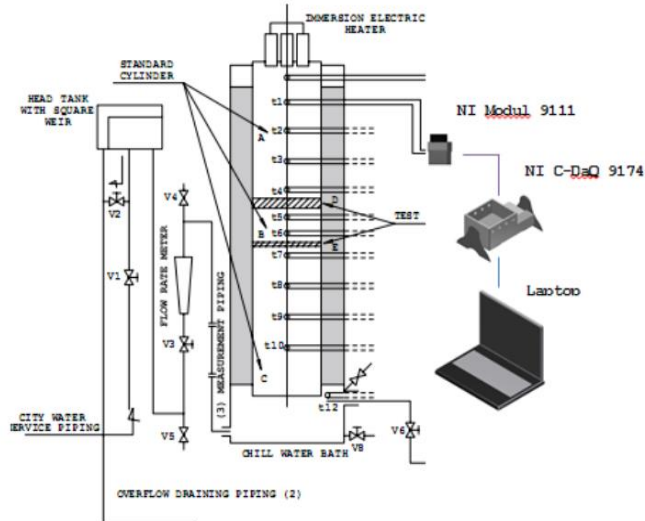
$\Delta W/\Delta t$ = laju aliran energi (J/s)



- A = luas permukaan bahan (m^2)
L = ketebalan plat (m)
 ΔT = selisih temperatur plat (K)

Langkah kerja dalam penggunaan alat uji ini yaitu :

1. Memasang sampel uji
 - a. Sampel dipasang di antara dua buah silinder standar yang telah diketahui konduktivitas kalor (digunakan logam tembaga sebagai silinder standar)
 - b. Sebelum sampel dipasang, permukaan sampel dan silinder standar harus dibersihkan dari kotoran dan debu
 - c. Oleskan *grease* secara merata pada permukaan kontak
 - d. Kencangkan mur pengatur dengan seragam
2. Memasang termokopel pada silinder standar, kemudian mur pengatur dikencangkan secara seragam
3. Isi tangki air sampai penuh. Aliran air di set konstan pada 100 liter/jam
4. Setelah tombol ON ditekan, melalui temperature set *controller* temperature heater di set sesuai dengan kebutuhan. Temperatur set up akan diperlihatkan pada *set value display* (SV). Temperatur *heater* actual diperlihatkan pada *process value display* (PV)
5. Untuk mempertahankan keadaan stasioner di dalam baik air pendingin, maka jumlah air diusahakan konstan sepanjang waktu
6. Setelah keadaan tercapai yang ditunjukkan oleh termometer T1 sampai dengan T10 dalam keadaan stasioner, maka catatlah temperature yang ditunjukkan termometer T1 sampai T10



Gambar 3.31 Skema uji konduktivitas termal

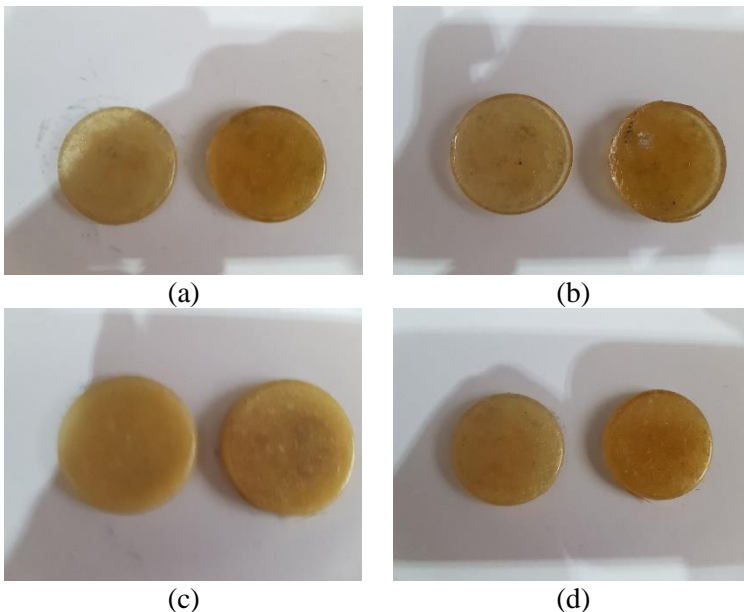
Spesifikasi alat *thermal conductivity measuring apparatus* buatan Ogawa Seiki Co. Ltd, Tokyo, Jepang ditunjukkan pada Tabel 3.1.



Tabel 3.1 Spesifikasi alat *thermal conductivity measuring apparatus*

Model	HVS-40-200 SF
Material specimen : Diameter Tebal	40 mm 4 mm dan 2mm
Standard disc	Diameter 40 mm (tembaga)
<i>Temperature gradient setting device</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Immersion electric heater</i> • Maksimum temperatur • Termometer (digital indicator) • <i>Thermo detector</i> • <i>Low temperature source</i> • Isolasi 	1500 Watt 200°C 0 – 199.9°C CA <i>thermocouple</i> aliran air PAM Polyurethane
Automatic temperature controller <ul style="list-style-type: none"> • PID <i>function controller</i> • <i>Thyristor power unit</i> • <i>On-off controller</i> • <i>Magnetic power relay</i> 	
Suplai air pendingin	100 liter/jam
Dimensi <ul style="list-style-type: none"> • Panjang • Lebar • Tinggi 	850 mm 400 mm 1150 mm

Spesimen uji konduktivitas termal komposit UPR berpenguat nanoselulosa ditunjukkan pada Gambar 3.32.



Gambar 3.32 Spesimen uji konduktivitas termal komposit UPR/Nanoselulosa dengan komposisi massa filler (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%

3.4.2.7 Pengujian TGA-DTG

Thermogravimetric analysis-differential thermo gravimetry (TGA-DTG) adalah alat pengukuran perubahan massa yang terjadi akibat dari perubahan temperatur. Pada pengujian TGA digunakan alat Perkin Elmer STA-5000 dengan standar ASTM E 1131. TGA-DTG dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan massa sample (*weight loss*). Analisa tersebut bergantung pada tiga pengukuran yaitu berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Analisa termal gravimetric dilakukan untuk menentukan komposisi material dan kestabilan termal dari suatu material. Metode TGA-DTG ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar sampai temperatur tinggi yang biasanya sekitar 900°C.



Alat TGA-DTG dilengkapi dengan timbangan mikro yang setiap penurunan massa akan terekam dan disajikan dalam tampilan grafik. Kenaikan temperatur pemanasan yang konstan dari temperatur kamar hingga temperatur yang ditentukan, maka pada temperatur tertentu material akan terdekomposisi sehingga terjadi penurunan massa yang signifikan. Kehilangan massa pada temperatur tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji.

3.5 Rancangan Penelitian

Untuk pelaksanaan penelitian, Tabel 3.2 menunjukkan rancangan pada penelitian ini.

Tabel 3.2 Rancangan penelitian

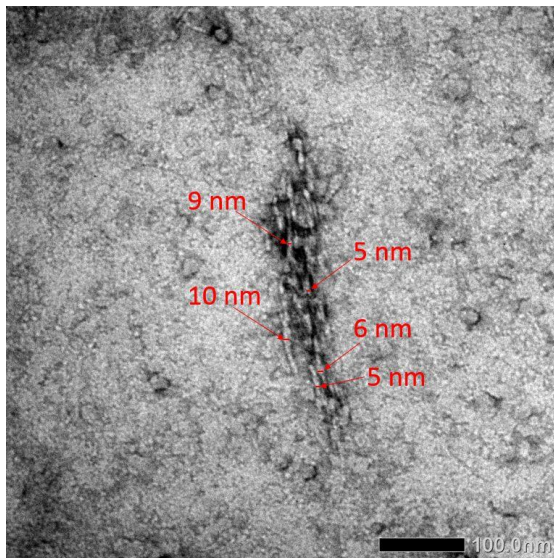
No.	Spesimen Uji	Pengujian						
		SEM	TEM	FTIR	Densitas	TGA-DTG	α	k
1	TKKS	✓	-	✓	-	-	-	-
2	TKKS <u>alkalisasi</u>	✓	-	✓	-	-	-	-
3	TKKS <u>bleaching</u>	✓	-	✓	-	-	-	-
4	TKKS <u>hidrolisis</u>	✓	✓	✓	-	-	-	-
5	UPR	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
6	UPR/Nanoselulosa 2%	✓	-	-	✓	✓	✓	✓
7	UPR/Nanoselulosa 4%	✓	-	-	✓	✓	✓	✓
8	UPR/Nanoselulosa 6%	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓



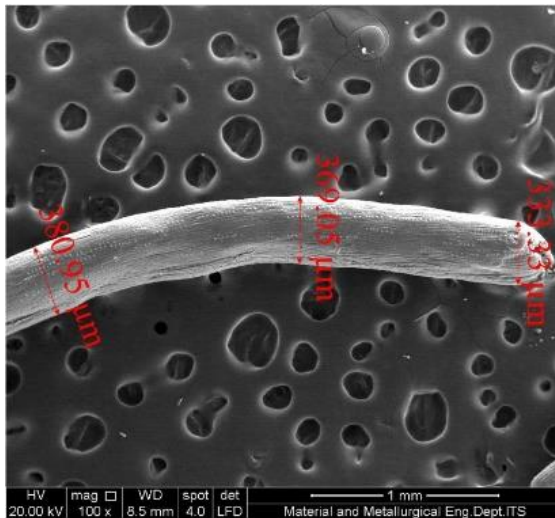
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Morfologi

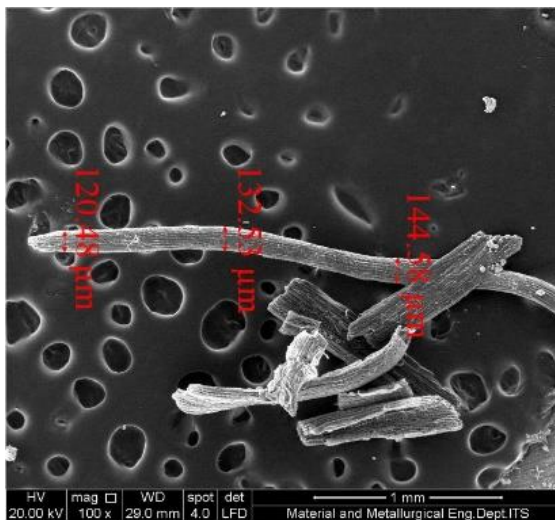
Pengamatan morfologi dilakukan dengan menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar 4.1 menunjukkan hasil morfologi nanoselulosa TKKS setelah proses hidrolisis asam. Serat mengalami pemecahan kimia melalui proses hidrolisis asam menjadi ukuran nano dengan rentang diameter 5 – 10 nm. Ukuran nanoselulosa yang tereduksi dari mikro menjadi nano diperoleh dengan menghilangkan bagian amorfus dari serat mikro melalui perlakuan hidrolisis asam sulfat (Reddy, 2014). Dari gambar, bentuk nanoselulosa terdiri dari serat tunggal yang berbentuk seperti jarum dan serat teraglomerasi. Nanoselulosa yang teraglomerasi disebabkan terbentuknya ikatan hidrogen yang kuat diantara serat (S. Widiarto, 2017).



Gambar 4.1 TEM nanoselulosa dengan perbesaran 40.000x

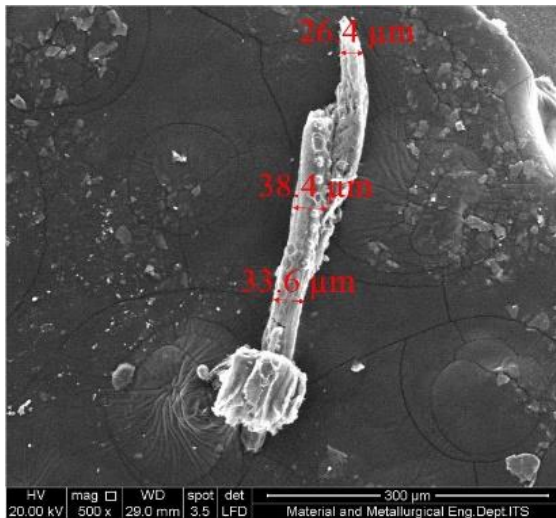


Gambar 4.2 SEM serat TKKS tanpa perlakuan dengan perbesaran 100x (Sita, 2017)

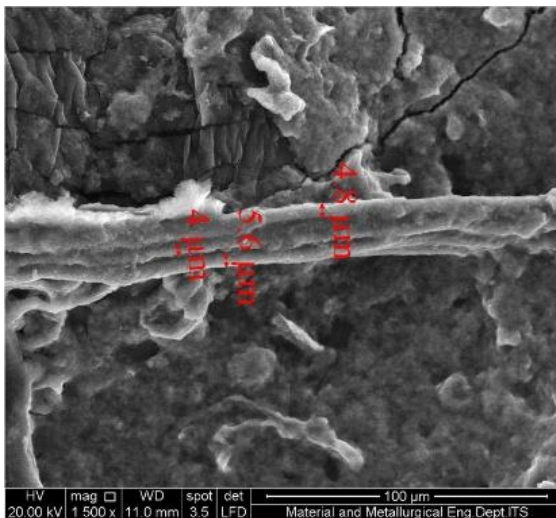


Gambar 4.3 SEM serat TKKS perlakuan alkalisasi dengan perbesaran 100x (Pratama, 2017)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.4 SEM serat TKKS perlakuan *bleaching* dengan perbesaran 500x (Utomo, 2017)



Gambar 4.5 SEM serat TKKS perlakuan hidrolisis asam dengan perbesaran 1500x



Tabel 4.1 Data diameter serat

Perlakuan	Diameter (μm)	Reduksi (%)
Tanpa perlakuan	330 – 380	-
Alkalisasi	120 – 145	63
<i>Bleaching</i>	26 – 38	75
Hidrolisis asam	4 – 6	88

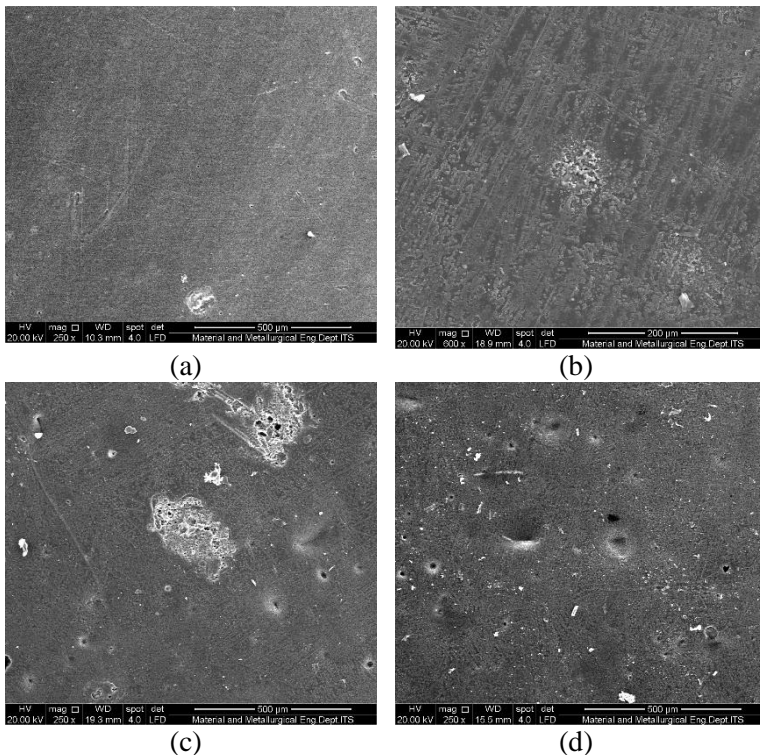
Gambar 4.2 sampai 4.5 terlihat ada perbedaan morfologi dari masing-masing perlakuan pada serat tandan kosong kelapa sawit. Gambar 4.2 adalah TKKS yang tidak diberikan perlakuan kimia. TKKS menunjukkan diameter serat yang besar sekitar 330 – 380 μm .

Perlakuan kimia mengakibatkan reduksi ukuran serat TKKS. Perbedaan ukuran serat mulai terlihat pada perlakuan alkalisasi dengan NaOH 2% berat seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3 TKKS yang dilakukan proses alkalisasi memiliki permukaan serat yang kasar dan diameter TKKS berkurang menjadi sekitar 120 – 145 μm atau tereduksi $\pm 63\%$. Proses alkalisasi berfungsi untuk memutus ikatan hidrogen dari struktur ikatan sehingga meningkatkan kekasaran permukaan serat. Permukaan yang kasar mampu menghasilkan ikatan mekanik yang lebih baik melalui interlocking. Alkalisasi juga berfungsi untuk menghilangkan pengotor, depolimerisasi struktur selulosa dan menghasilkan serat pendek (Mohanty, 2001).

Gambar 4.4 yaitu TKKS yang dilakukan proses *bleaching* dengan campuran larutan H_2O_2 dan NaOH. Hasil *bleaching* terlihat bahwa diameter TKKS semakin tereduksi dengan rentang 26 – 38 μm atau tereduksi $\pm 75\%$. Tujuan dari *bleaching* yaitu menghilangkan hemiselulosa dan lignin (Mounika M., 2016).

Proses terakhir adalah hidrolisis asam dengan menggunakan H_2SO_4 64% berat. Gambar 4.5 merupakan hasil dari proses hidrolisis dan terlihat bahwa terjadi penggumpalan serat. Ukuran diameter dari hasil hidrolisis yaitu sekitar 4 – 6 μm atau tereduksi $\pm 88\%$.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.6 SEM pengaruh penambahan filler terhadap morfologi (a) resin poliester tak jenuh, komposit UPR/nanoselulosa dengan komposisi massa (b) 2%, (c) 4% dan (d) 6%

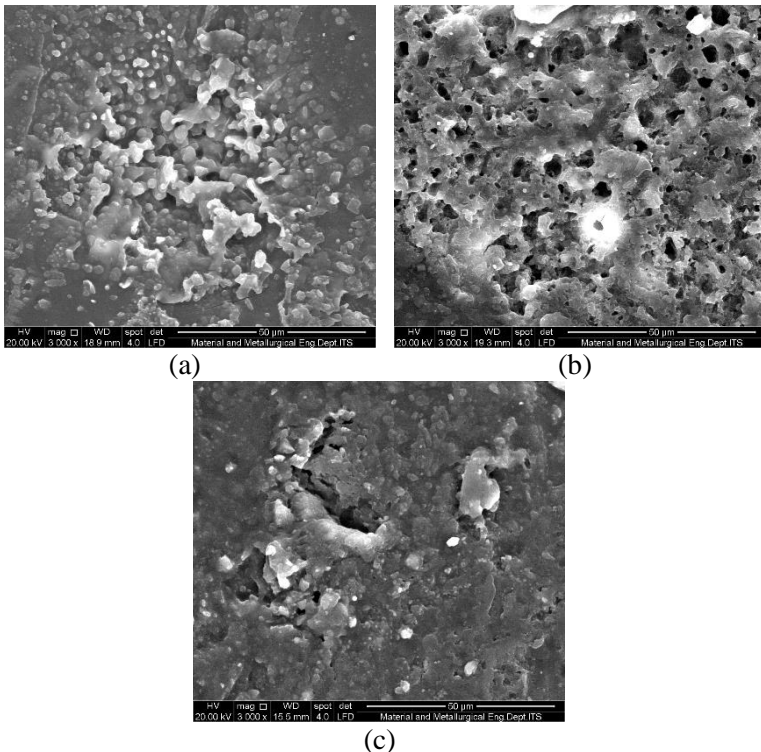
Gambar 4.6(a) sampai 4.3(d) menunjukkan hasil SEM resin poliester tak jenuh (UPR) dan komposit UPR berpenguat nanoselulosa dengan komposisi massa 2, 4 dan 6%. Serat nano selulosa terlihat tersebar di seluruh matrik UPR tetapi ada sebagian nanoselulosa yang teraglomerasi. Serat yang teraglomerasi disebabkan terbentuk ikatan hidrogen yang kuat diantara nanoselulosa, proses pencampuran yang tidak merata, dispersi yang buruk disebabkan oleh tingginya nilai viskositas,



terbentuknya ikatan *cross-linking* yang cepat sehingga membentuk struktur partikulat (Deniz Aydemir, 2014; Nair dan Dufresne, 2003).

Gambar 4.6(a) memperlihatkan permukaan resin poliester tak jenuh yang rata. Permukaan poliester mengandung beberapa *void* yang disebabkan adanya udara yang terperangkap dan terjadi penyusutan selama polimerisasi. Resin poliester tak jenuh mengalami penyusutan volume yang besar selama polimerisasi yaitu 5-8% volume. Penyusutan menyebabkan terbentuknya mikro *void* selama proses *curing*. Hal ini disebabkan adanya pemisahan fasa antara non aditif dengan resin polyester tak jenuh (A.M.Figliolini, 2014). *Curing* dan kecepatan pendinginan resin juga mempengaruhi pembentukan *void* (Joseph, 2001).

Gambar 4.6(b) sampai 4.6(d) merupakan hasil SEM resin poliester tak jenuh dengan penambahan *filler* nanoselulosa 2, 4 dan 6% berat. Penambahan komposisi *filler* menyebabkan bertambahnya kandungan *void* di komposit. *Void* muncul akibat inklusi udara selama proses manufaktur dan *wettability* serat yang rendah. Selama proses manufaktur komposit, terdapat udara yang terperangkap atau material yang tidak stabil di dalam komposit yang menyebabkan terbentuknya *void* karena ketidakmampuan matriks untuk mengeluarkan udara yang terperangkap. Udara masuk bersama dengan serat pada saat pencampuran dengan matriks (Jawaid, 2011). Selain itu, terlihat pada beberapa bagian komposit adanya serat yang teraglomerasi yang membentuk *void*. Gambar 4.7 menunjukkan *void* yang terbentuk pada komposit UPR/nanoselulosa.

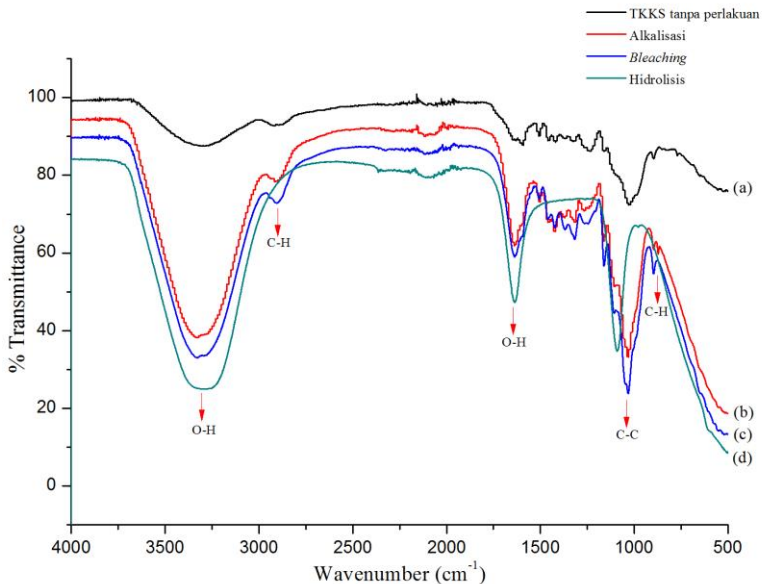


Gambar 4.7 SEM *void* pada komposit UPR/nanoselulosa dengan penambahan filler (a) 2, (b) dan 6% dengan perbesaran 3000x

4.2 Analisis FTIR

4.2.1 Analisis FTIR pada Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Serat tandan kosong kelapa sawit memiliki komponen utama yaitu lignin, hemiselulosa dan selulosa. Ketiga komponen tersebut tersusun atas alkana, ester, aromatik dan alkohol (Abraham et al., 2011). Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari serat TKKS tanpa perlakuan dan dengan perlakuan kimia.



Gambar 4.8 Spektrum FTIR TKKS (a) tanpa perlakuan, (b) alkalisasi, (c) *bleaching* dan (d) hidrolisis

Absorpsi yang kuat dan luas berada pada daerah serapan 3355 cm^{-1} yang menunjukkan O-H *stretching* pada grup hidroksil selulosa. O-H *stretching* (Khalil, 2001), dari hasil eksperimen ditunjukkan dengan adanya puncak 3289.17 cm^{-1} , 3329.91 cm^{-1} , 3327.67 cm^{-1} dan 3288.08 cm^{-1} pada semua serat yang diberi perlakuan dan tanpa perlakuan. Daerah serapan pada 2900 cm^{-1} adalah C-H *stretching* pada CH_2 dari grup $\text{CH}_2\text{-OH}$ selulosa (Xiao, 2014). Gugus C-H alifatik pada pengujian FTIR ditunjukkan dengan adanya puncak 2918.57 cm^{-1} , 2910.89 cm^{-1} dan 2904.75 cm^{-1} tetapi tidak ditemukan pada serat setelah dihidrolisis.

Lignin ditunjukkan dengan adanya puncak antara $1200 - 1300\text{ cm}^{-1}$ dengan getaran *aromatic skeletal* (Reddy & Yang, 2005) pada grafik ditunjukkan dengan adanya puncak 1238.51 cm^{-1} pada TKKS tanpa perlakuan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



Perlakuan alkalisasi mereduksi ikatan hidrogen akibat penghilangan kelompok hidroksil dengan bereaksi bersama sodium hidroksida. Hasil dari proses alkalisasi yaitu meningkatnya konsentrasi $-OH$, ditunjukkan dengan adanya puncak daerah serapan antara $3300 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan (Lojewska et al., 2005). Selain itu, alkalisasi juga menghilangkan daerah serapan $C=C$ grup lignin.

Perlakuan kedua adalah *bleaching*. *Bleaching* bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin (E. Abraham, 2011) ditunjukkan dengan semakin lanjut proses daerah serapan $C=C$ menghilang.

Setelah dilakukan hidrolisis pada serat TKKS terdapat tiga daerah serapan utama yaitu 3288.08 cm^{-1} , 1636.43 cm^{-1} dan 1089.92 cm^{-1} yang menunjukkan ikatan $O-H$ *stretching*, $O-H$ deformasi dan $C-C$ *stretching*. Daerah serapan yang muncul menunjukkan bahwa tidak adanya lignin dari perlakuan hidrolisis asam (B. Shanmugarajah, 2015). Perlakuan hidrolisis menunjukkan penurunan % transmitansi $O-H$ disebabkan adanya pemutusan ikatan hidrogen dalam selulosa (M. Ieolovich, 2012).

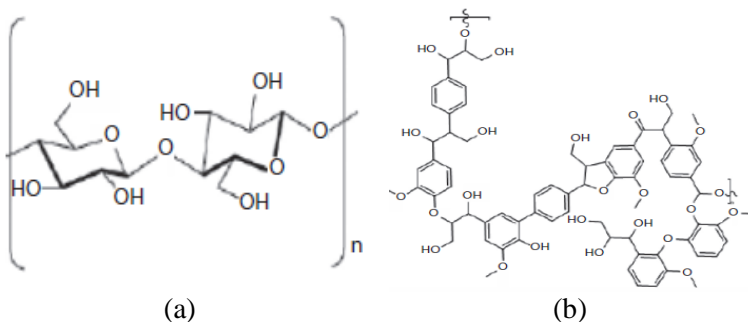


Tabel 4.2 Daerah serapan infra merah serat TKKS tanpa perlakuan, alkalisasi, *bleaching* dan hidrolisis

Tanpa perlakuan	Daerah Serapan (cm ⁻¹)			Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
	Alkalisasi	<i>Bleaching</i>	Hidrolisis	
3289.17	3329.91	3327.67	3288.08	O-H stretching
2918.57	-	-	-	C-H stretching
1593.05	1636.99	1636.74	1636.43	O-H bending
1505.68	-	-	-	C=C stretching
1455.69	-	-	-	cincin aromatik
1421.92	1421.14	1424.26	-	C-H deformasi -CH ₂
1238.51	-	-	-	C=C deformasi
-	1160.2	1160.57	-	cincin aromatik
1026.82	1032.71	1032.75	1089.92	C-O-C stretching
895.80	-	896.33	-	C-C stretching
				C-H deformasi

Gambar 4.9 adalah struktur kimia selulosa dan lignin pada TKKS tanpa diberi perlakuan. Hal ini sesuai dengan hasil uji FTIR pada Gambar 4.8 yang menunjukkan adanya struktur kimia penyusun TKKS yaitu selulosa dan lignin.

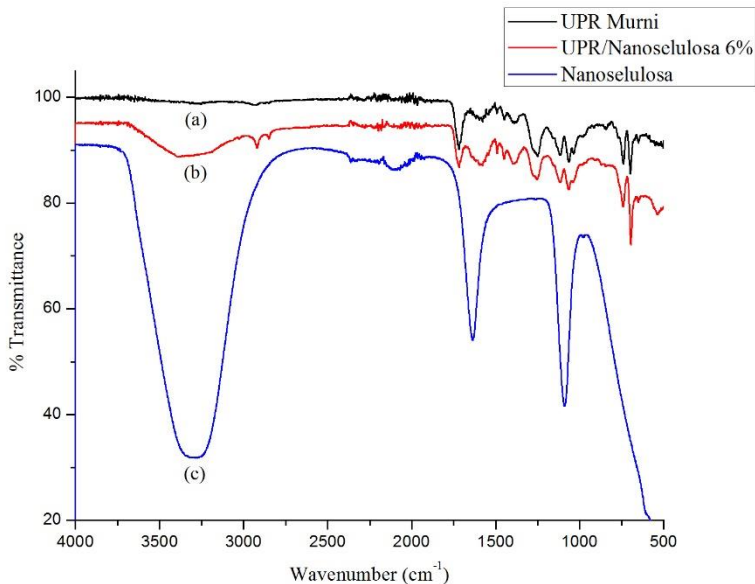
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.9 Struktur kimia (a) selulosa, (b) lignin (Ayrilmis N., 2016)

4.2.2 Analisis FTIR pada Resin Poliester Tak Jenuh dan Komposit

Hasil uji FTIR antara resin poliester tak jenuh (UPR) dengan komposit UPR berpenguat nanoselulosa ditampilkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Spektrum FTIR (a) UPR murni, (b) UPR/nanoselulosa 6% dan (c) selulosa

Dari grafik UPR murni terdapat pita absorpsi yang kuat pada 740.86 cm^{-1} mengidentifikasi adanya gugus C-H bending pada cincin benzene. Gugus C-O-C- dari ester ditunjukkan dengan adanya 1116.26 cm^{-1} . Puncak absorpsi muncul pada 1250.27 cm^{-1} menandakan C=C grup poliester. Pita absorpsi medium pada 1448.85 cm^{-1} menunjukkan CH bending . Adanya gugus C=O dan CH stretching ditunjukkan dengan adanya pita absorpsi spektrum pada 1718.80 cm^{-1} dan 2923.82 cm^{-1} . Observasi ini sesuai dengan struktur molekul resin poliester tak jenuh (K. Sethuraman, 2015).



Tabel 4.3 Spektrum infra merah resin poliester tak jenuh dan komposit UPR/Nanoselulosa

Daerah Serapan (cm^{-1})		Ikatan	Jenis Gugus Fungsional
UPR	UPR/ Nanoselulosa		
-	3392.08	O-H	Stretching
2923.82	2919.61	C-H	Stretching
1966.16	-	C=C	Stretching
1718.80	1718.35	C=O	Stretching
1577.72	1577.68	C=O	Stretching
1545.63	-	C=C	Stretching
1491.38	1491.25	C=C	Stretching
1448.85	1451.04	C-H	Deformasi
1389.13	1395.43	C-O	Stretching
1250.27	1254.36	C=C	Stretching
1116.26	1116.71	C-O	Stretching
1064.96	1065.65	C-H	Stretching
740.86	741.96	C-H	Deformasi

Tabel 4.3 menunjukkan *wavenumber* dari daerah serapan hasil pengujian FTIR resin poliester tak jenuh dan komposit UPR berpengetahuan nanoselulosa. Dari tabel, dapat diamati bahwa spektrum IR dari UPR dan komposit UPR/Nanoselulosa memiliki spektrum yang mirip. Interaksi yang terjadi pada komposit yaitu ikatan mekanik, interaksi antara serat alam dan resin dimana grup -OH pada matriks UPR menyediakan area untuk terbentuknya ikatan hidrogen dengan serat alam yang mengandung grup hidroksil dan gaya Van der Waals (D. Ray, 2005).

UPR dengan penambahan 6% nanoselulosa menunjukkan daerah serapan UPR yaitu -CH bending pada daerah serapan 741.96 cm^{-1} , gugus C-O-C pada daerah serapan 1116.71 cm^{-1} , dan C=C kelompok poliester ditunjukkan dengan adanya puncak 1254.36 cm^{-1} . Daerah serapan yang menunjukkan adanya nanoselulosa yaitu 3392.08 cm^{-1} yang menunjukkan ikatan O-H dan 2919.61 cm^{-1} yang menunjukkan ikatan C-H.



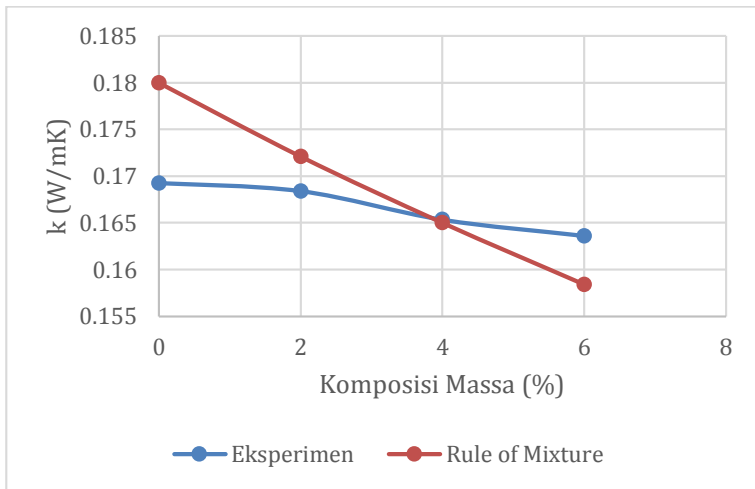
4.3 Analisis Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal resin poliester tak jenuh (UPR) berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit dengan komposisi massa 2, 4 dan 6% secara eksperimen dan teoritis ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Konduktivitas termal komposit UPR/Nanoselulosa

Spesimen	Konduktivitas Termal (W/mK)	
	Eksperimen	Model Rule of Mixture
UPR Murni	0.169	0.180
UPR/Nanoselulosa 2%	0.168	0.174
UPR/Nanoselulosa 4%	0.165	0.169
UPR/Nanoselulosa 6%	0.164	0.163

Nilai konduktivitas termal resin poliester tak jenuh dan komposit UPR berpenguat nanoselulosa dengan komposisi massa 2, 4 dan 6% yaitu 0.169, 0.168, 0.165 dan 0.164 W/mK. Hal ini sesuai dengan ASM Internasional bahwa nilai konduktivitas termal material UPR adalah 0.17 – 0.22 W/mK (ASM International, 2003). Penambahan filler nanoselulosa menurunkan konduktivitas termal komposit poliester berpenguat nanoselulosa. Penurunan nilai konduktivitas termal disebabkan material pengisi berupa serat alam yang memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah (Monteiro et al., 2012). Nilai konduktivitas termal kelapa sawit adalah 0.055 W/mK (Ibrahim, 2014). Selain itu, serat alam memiliki lumen dengan struktur silinder berongga yang menghambat perpindahan panas pada material komposit (John et al., 2012).



Gambar 4.11 Konduktivitas termal komposit UPR/Nanoselulosa

Gambar 4.11 menunjukkan nilai konduktivitas termal komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dengan penambahan *filler* secara eksperimen dan teoritis. Penurunan konduktivitas termal juga disebabkan oleh kandungan *void* yang tinggi. Komposisi massa serat meningkat maka semakin banyak kandungan *void* (Torres, 2005). Udara mengelilingi *void* sehingga memperlambat perambatan panas. Hal ini disebabkan konduktivitas termal udara yang rendah yaitu 0.025 W/mK. Memprediksi konduktivitas termal dengan menggunakan model teoritis. Model yang digunakan adalah *rule of mixture* dengan nilai konduktivitas termal dari serat kelapa sawit yaitu 0,055 W/m.K (Ibrahim, 2014) dan resin poliester tak jenuh 0.18 W/m.K (Rajni A., 2005). Nilai konduktivitas termal teoritis ditunjukkan pada Tabel 4.4.

4.4 Analisis Absorpsi Suara

Pengujian koefisien absorpsi suara dilakukan sesuai dengan standar metode ASTM E1050. Pengujian dilakukan dengan



menggunakan perangkat berupa dua buah mikrofon, amplifier, tabung impedansi B&K 4206, *pulse multi analyzer* dan laptop. Koefisien absorpsi suara (α) didefinisikan sebagai rasio antara suara yang terabsorpsi dengan suara yang masuk. α memiliki rentang antara 0 sampai 1. Nilai 0 menunjukkan bahwa suara yang datang dipantulkan kembali seluruhnya dan nilai 1 menunjukkan suara diserap sepenuhnya. Semakin besar nilai α maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai α memiliki rentang antara 0 sampai 1. Hasil pengujian absorpsi suara komposit resin poliester tak jenuh (UPR) berpenguat nanoselulosa ditunjukkan pada Tabel 4.5.

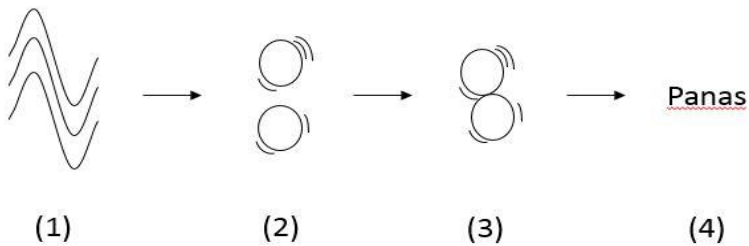
Tabel 4.5 Koefisien absorpsi suara komposit UPR/Nanoselulosa

Frekuensi (Hz)	Komposisi (%)			
	0	2	4	6
125	0.1904	0.1882	0.1906	0.2001
250	0.2983	0.1905	0.2313	0.2808
500	0.3570	0.3043	0.3476	0.3599
1000	0.3594	0.3669	0.3788	0.3764
2000	0.4015	0.3963	0.3839	0.4238
4000	0.4437	0.4338	0.4409	0.4475

Koefisien absorpsi suara terlihat fluktuatif di frekuensi rendah dan sedang, tetapi pada rentang frekuensi tinggi perbedaan koefisien penyerapan suaranya sangat kecil. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh komposisi massa serat terhadap nilai koefisien absorpsi suara. Semakin naik frekuensi menyebabkan semakin naiknya nilai absorpsi suara. Hal ini menandakan bahwa material tersebut merupakan tipe *porous absorber* (Howard, 2009).

Tabel 4.5 terlihat bahwa bertambahnya komposisi massa nanoselulosa, nilai koefisien absorpsi suara (α) juga meningkat. Semakin tinggi komposisi massa serat dalam komposit meningkatkan porositas. Porositas yang tinggi menunjukkan luas permukaan pori yang semakin besar dan terbentuk struktur internal material yang kompleks (Liu, 2014).

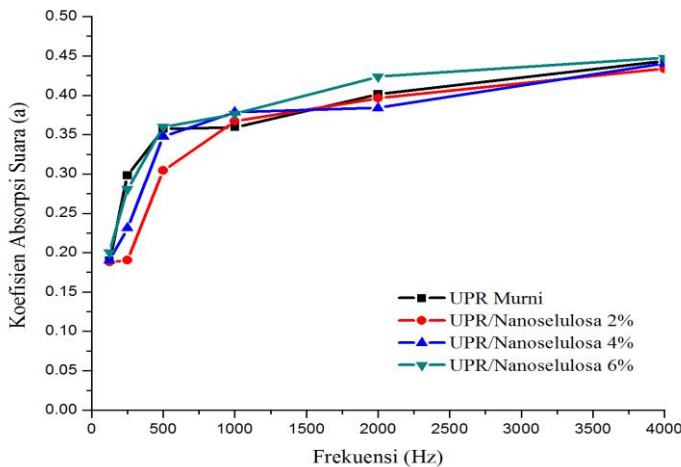
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.12 Mekanisme absorpsi suara

Mekanisme absorpsi suara yaitu gelombang bunyi menyebabkan partikel bervibrasi. Partikel yang bervibrasi saling bergesekan sehingga mengubah energi bunyi menjadi energi panas. Selain itu, gelombang bunyi menggerakkan partikel di udara sehingga partikel-partikel akan bergesekan dengan dinding pori. Proses absorpsi suara ditunjukkan pada Gambar 4.12.

Menurut Koizumi et al., meningkatnya nilai koefisien absorpsi suara seiring dengan menurunnya diameter serat. Pengaruh ukuran diameter terhadap perambatan bunyi yaitu gelombang bunyi mudah bergerak pada serat tipis daripada serat yang tebal. Selain itu, diameter serat yang kecil memungkinkan komposit diisi lebih banyak serat. Serat berukuran nano memberikan ekstra vibrasi sehingga energi bunyi yang diserap lebih banyak (Li, 2010).



Gambar 4.13 Koefisien absorpsi suara komposit UPR/Nanoselulosa

Gambar 4.13 menunjukkan grafik pengaruh komposisi massa terhadap nilai koefisien absorpsi suara komposit. Komposit UPR dengan penambahan *filler* 2% nanoselulosa menunjukkan absorpsi suara yang lemah. Nilai koefisien absorpsi suara (α) dari hasil eksperimen bervariasi antara 0.1882 – 0.4475 dengan kecenderungan meningkat seiring meningkatnya frekuensi. Nilai koefisien absorpsi suara komposit resin poliester tak jenuh berpuang nanoselulosa dengan komposisi massa 2, 4 dan 6% pada 4000 Hz secara berturut-turut sebesar 0.4388; 0.4409 dan 0.4475. Nilai koefisien absorpsi suara terbaik adalah UPR dengan penambahan *filler* nanoselulosa 6%.

Densitas material merupakan salah satu faktor penting yang menentukan nilai absorpsi suara material. Meningkatnya jumlah serat per luas area akan meningkatkan densitas. Densitas material yang tinggi akan menyerap lebih banyak energi bunyi karena terjadi lebih banyak gesekan antara gelombang bunyi dengan serat, sehingga meningkatkan nilai koefisien absorpsi suara (Samsudin,

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



2016). Menurut Koizumi, semakin tinggi nilai densitas material, maka semakin tinggi nilai absorpsi suara pada frekuensi menengah dan tinggi. Meningkatnya *energy loss* seiring dengan meningkatnya gesekan pada permukaan, sehingga akan meningkatkan nilai koefisien absorpsi suara (Koizumi T., 2002).

Menurut Jakob Morkholt (2011), nilai koefisien absorpsi suara pada material yang terdapat di dalam kabin kendaraan dibedakan menjadi 3 bagian yaitu untuk atap mobil, tempat duduk dan jendela beserta pintu. Untuk door panel mobil dan jendela nilai α sebesar 0.3.

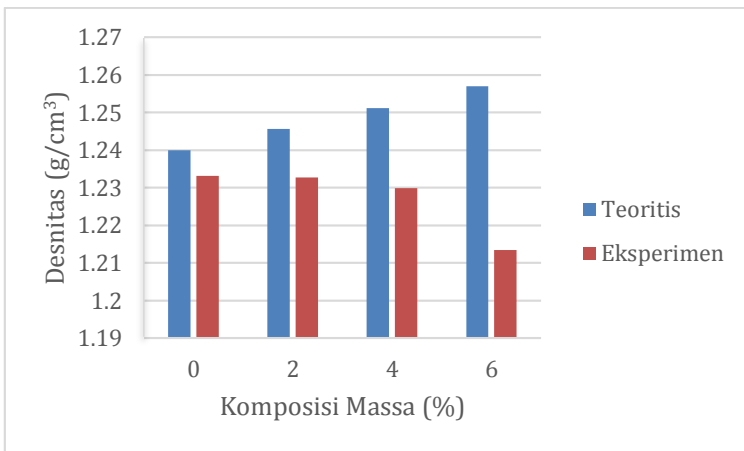
4.5 Analisis Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan mengukur massa dan volume dari komposit. Pengujian dilakukan menurut standar ASTM D792.

Tabel 4.6 Densitas komposit UPR/Nanoselulosa

Spesimen	Densitas (g/cm ³)		Fraksi <i>void</i> (%)
	Eksperimen	Teoritis	
UPR	1.233	1.24	0.55
UPR/Nanoselulosa 2%	1.232	1.245	1.034
UPR/Nanoselulosa 4%	1.229	1.251	1.709
UPR/Nanoselulosa 6%	1.213	1.256	3.458

Tabel 4.6 menunjukkan nilai densitas pada komposit resin poliester tak jenuh (UPR) berpenguat serat nano selulosa dengan komposisi masing-masing sebesar 2, 4 dan 6 % berat. Nilai densitas UPR murni sebesar 1.233 g/cm³. Hal ini sesuai dengan ASM International bahwa massa jenis UPR antara 1.10 – 1.46 g/cm³ (ASM International, 2003).



Gambar 4.14 Densitas komposit UPR/Nanoselulosa

Gambar 4.14 menunjukkan pengaruh komposisi nanoselulosa terhadap nilai densitas komposit. Nilai densitas UPR murni dan komposit UPR/Nanoselulosa dengan komposisi massa 2, 4 dan 6% yaitu 1.233, 1.232, 1.229 dan 1.213 g/cm³. Hasil eksperimen, menunjukkan bahwa penambahan komposisi massa *filler* menurunkan nilai densitas komposit tetapi penurunan tidak signifikan. Hal ini disebabkan terbentuk *void* di dalam komposit selama proses fabrikasi (Nanda, 2017).

Nilai densitas eksperimen lebih rendah daripada teoritis dikarenakan terbentuknya *void* pada komposit. *Void* terbentuk karena adanya udara yang terperangkap selama preparasi resin dan *moisture adsorption* ketika proses pengerjaan atau penyimpanan. Semakin tinggi nilai *void fraction* pada komposit menunjukkan serat tidak dikelilingi secara menyeluruh oleh resin dan berdampak pada kekuatan antarmuka yang rendah sehingga menurunkan kekuatan dan kekakuan komposit, abrasi pada serat menyebabkan serat patah serta inisiasi retak (Vivek M., 2013). Komposit yang difungsikan untuk aplikasi struktur pada penerbangan memiliki standar kandungan *void* kurang dari 1% dan 5% untuk aplikasi otomotif dan kelautan (Shah, 2013). Dari hasil eksperimen,

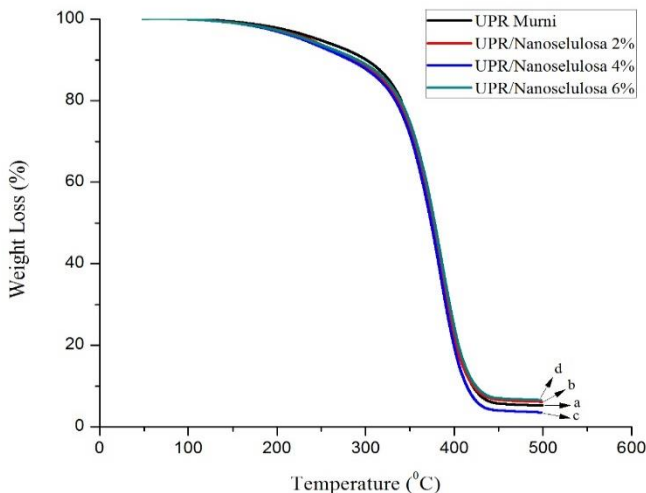
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



kandungan *void* pada komposit memiliki rentang 0.55 – 3.458 % sehingga dapat diaplikasikan untuk material otomotif.

4.6 Analisis TGA-DTG

Thermo gravimetric analysis dilakukan menggunakan gas nitrogen dengan laju alir gas 20 ml/menit. Material komposit dipanaskan dari temperature 50°C sampai 800°C dengan laju pemanasan sebesar 10°C/menit. Gambar 4.15 menunjukkan degradasi massa komposit terhadap temperature dengan berbagai komposisi massa nanoselulosa.



Gambar 4.15 TGA komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dengan komposisi massa (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%

Komposit resin poliester tak jenuh (UPR) berpenguat nanoselulosa dengan komposisi 2, 4 dan 6% berat menunjukkan terjadi satu tahap degradasi yaitu inisiasi *weight loss* pada



temperatur dibawah 100°C yang disebabkan oleh penguapan kandungan air yang terdapat pada nanoselulosa dan dilanjutkan dengan dekomposisi material sebenarnya yaitu dekomposisi pada selulosa, lignin dan matriks polimer (G. U. Raju, 2012). Degradasi yang terjadi karena pemutusan rantai aromatik serta pelepasan gas metana (CH_4), gas CO_2 dan gas CO (Jawaid, 2011). Setelah itu laju degradasi melambat. Namun UPR murni tidak terjadi dekomposisi pada temperatur $\geq 100^{\circ}\text{C}$.

Tabel 4.7 Stabilitas termal komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dengan variasi komposisi massa

Sample	$T_{10\%}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{50\%}$ ($^{\circ}\text{C}$)	T_{\max} ($^{\circ}\text{C}$)	Residu 500°C (%)
UPR Murni	300.62	377.19	388.83	5.26345
UPR/Nanoselulosa 2%	286.85	375.04	384.13	6.16916
UPR/Nanoselulosa 4%	282.01	373.73	385.18	3.56586
UPR/Nanoselulosa 6%	290.5	377.78	387.61	6.62046

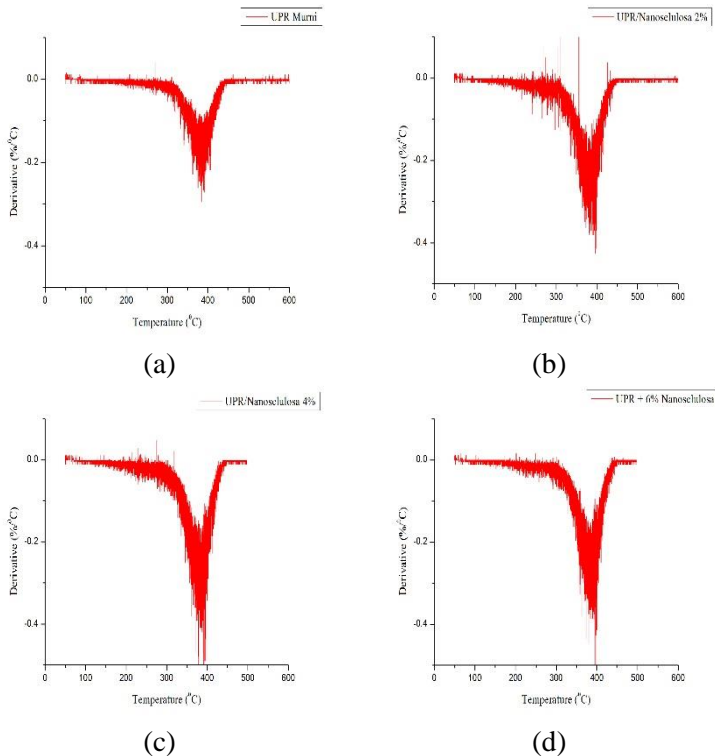
Tabel 4.7 menunjukkan stabilitas termal komposit resin poliester tak jenuh (UPR) berpenguat nanoselulosa dengan komposisi massa 2, 4 dan 6%. Temperatur inisiasi terjadi dekomposisi material yang digunakan adalah temperatur pada hilangnya 10% massa specimen. Komposit UPR/nanoselulosa memiliki temperatur inisiasi terjadi dekomposisi dengan rentang $282 - 290^{\circ}\text{C}$. Nilai ini lebih rendah daripada UPR murni yaitu 300.62°C . Penambahan komposisi massa *filler* nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit menurunkan stabilitas termal komposit. Penurunan stabilitas termal disebabkan nanoselulosa memiliki temperatur degradasi yang lebih rendah daripada UPR. Serat alam mulai terdegradasi pada temperature 240°C . Komponen dari serat (selulosa, hemiselulosa dan lignin) memiliki perbedaan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



temperatur degradasi (Joseph, 2001). Hemiselulosa terdekomposisi pada temperatur yang rendah daripada lignin dan selulosa, disebabkan adanya grup asetil pada struktur lignin (Kargarzadeh et al. 2012).

Komposit UPR berpenguat nanoselulosa terdegradasi pada temperatur yang lebih rendah daripada resin polyester tak jenuh yang menunjukkan stabilitas termal UPR murni lebih tinggi daripada komposit UPR/Nanoselulosa. Hal ini disebabkan terjadinya proses *cross-linking* pada UPR saat *curing*. Terbentuknya ikatan pada polimer membuat material semakin padat dan membutuhkan energi panas yang lebih besar untuk memecah ikatan yang terbentuk (Khalil., 2011).



Gambar 4.16 DTG komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa dengan komposisi massa (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%

Gambar 4.16 menunjukkan DTG komposit UPR/nanoselulosa dengan komposisi massa (a) 0, (b) 2, (c) 4 dan (d) 6%. Puncak DTG menunjukkan degradasi temperatur maksimal. Degradasi pada T_{max} komposit UPR/Nanoselulosa dengan komposisi massa 2, 4 dan 6% memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan UPR murni yaitu 384.13, 385.18 dan 387.61°C. Setelah degradasi selesai, komposit UPR/nanoselulosa memiliki residu pada 500°C dengan rentang 6.17-6.62%. Meningkatnya jumlah residu pada komposit disebabkan selulosa

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



masih memiliki kandungan lignin. Lignin meningkatkan terbentuknya residu karena terjadi dehidrasi kandungan fenolik pada lignin serta terbentuknya residu yang memiliki stabilitas termal yang baik (Dorez, 2014).



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisis data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan :

1. Penambahan komposisi massa nanoselulosa menyebabkan bertambahnya kandungan void di komposit UPR/nanoselulosa. *Void* muncul akibat penyusutan volume resin poliester tak jenuh (UPR), inklusi udara selama proses manufaktur dan *wettability* serat yang rendah. Selain itu adanya serat yang teraglomerasi juga membentuk void. Perhitungan fraksi *void* juga menunjukkan bertambahnya fraksi massa *filler* dengan rentang antara 0.63-1.03%.
2. Koefisien absorpsi suara (α) dari resin poliester tak jenuh (UPR) berpenguat nanoselulosa memiliki trend yang naik seiring bertambahnya filler, namun nilai α pada penambahan nanoselulosa 2% dan 4% lebih rendah daripada polimer UPR. Nilai koefisien absorpsi suara *unsaturated polyester resin* sebesar 0.4437 pada frekuensi 4000 Hz. Nilai koefisien absorpsi tertinggi pada frekuensi 4000 HZ terdapa pada UPR/Nanoselulosa 6% sebesar 0.4475. Selain itu, semakin naik frekuensi secara umum menyebabkan semakin naiknya nilai absorpsi suara yang menandakan bahwa material tersebut merupakan tipe *porous absorber*.
3. Nilai konduktivitas termal (k) dari komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa memiliki trend menurun seiring bertambahnya komposisi massa *filler*. Nilai konduktivitas termal resin poliester tak jenuh sebesar 0.1692. Nilai konduktivitas termal terendah UPR/Nanoselulosa 6% sebesar 0.4475. Penurunan nilai k disebabkan konduktivitas termal nanoselulosa lebih rendah daripada UPR. Hal ini membuktikan bahwa seiring



penambahan filler material akan memiliki sifat insulator termal yang lebih baik.

4. Stabilitas termal dari komposit resin poliester tak jenuh berpenguat nanoselulosa memiliki trend yang turun seiring bertambahnya *filler* nanoselulosa, namun pada penambahan 6% nanoselulosa memiliki stabilitas yang lebih tinggi daripada 2% dan 4%. Stabilitas termal terbaik adalah resin poliester tak jenuh. Hal ini disebabkan temperatur degradasi nanoselulosa lebih rendah daripada UPR.

5.2 Saran

1. Penggunaan metode lain dalam pembuatan nanoselulosa
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai material penyerap suara dan insulasi panas pada polimer *thermosetting*
3. Dalam pembuatannya harus memperhatikan distribusi dari serat dan penyusutan dari matriks
4. Menggunakan fraksi massa *filler* yang lebih besar agar nilai koefisien absorpsi suara dan konduktivitas termal menunjukkan tren yang lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L. A., Jacob, M., Thomas, S., Cvelbar, U., Anandjiwala, R. 2011. "*Extraction of Nanocellulose Fibrils from Lignocellulosic Fibres: A Novel Approach*". Carbohydrate Polymers. Vol. 86. Hal. 1468-1475.
- Anggorodi, R. 1994. *Ilmu Makanan Ternak*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Aydemir, D. 2015. "*Morphological and Thermal Properties of Cellulose Nanofibrils Reinforced Epoxy Nanocomposites*". RVNA INDUSTRIJA, 66(1): 35-40.
- Badrawadam G. G. I. dan Agung, S. 2009. "*Pengaruh Kepadatan Papan Partikel dari Tiga Jenis Serbuk Kayu terhadap Nilai Konduktivitas Panas*". Jurnal Teknologi, 2: 150-157
- Bahadori, A. 2014. *Thermal Insulation for the Oil, Gas and Petrochemical Industries*. Elsevier Inc.
- Betha., Sudirman, Aloma dan Mashuri. 2000. "*Konduksi Panas Komposit Polimer Polipropilen-Pasir*". Jurnal Sains Materi Indonesia, 2: 21-26.
- Brinchi, L., et al. 2013. "*Production of Nanocrystalline Cellulose from Lignocellulosic Biomass: Technology and Applications*". Carbohydrate Polymers, 94(1). Hal. 154-169.
- Burger, N., Laachachi, A., Ferriol, M., Lutz, M., Toniazzo, V. dan Ruch, D. 2016. "*Review of Thermal Conductivity in Composites: Mechanism, Parameters and Theory*". Progress in Polymer Science 61: 1-28
- Callister Jr, William D, 2009. *Materials Science And Engineering An Introduction, 8th Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.
- Cameron, Christopher J. 2009. *Design of Multifunctional Body Panels in Automotive Application*. Sweden: KTH School of Engineering Sciences.

- Cao, X. dan James Lee. 2003. “*Control of Shrinkage and Residual Styrene of Unsaturated Polyester Resin Cured at Low Temperatures: I. Effect of Curing Agents*”. Polymer, 4: 1893-1902.
- Chung, Deborah D.L. 2010. *Composite Materials*. Springer : London Dordrecht Heidelberg.
- Diamant, R. M. E. 1986. *Thermal and Acoustic Insulation*. Great Britain: University Press, Cambridge.
- Dong, X. M., Revol, J. V. dan Gray, D.G. 1998. ”*Effect of Microcrystallite Preparation Conditions on the Formation of Colloid Crystals of Cellulose*”. Cellulose 5: 19-32.
- Dorez, G., Ferry, L., Sonnier, R., Taguet, A., Lopez-Cuesta, J. M. 2014. “*Effect of Cellulose, Hemicellulose and Lignin Contents on Pyrolysis and Combustion of Natural Fibers*”. J. Anal. Appl. Pyrolysis, 107: 323-331.
- Fahma, F., Iwamoto, S., Hori, N., Iwata, T. dan Takemura, A. 2011. “*Effect of Pre-Acid-Hydrolysis Treatment on Morphology and Properties of Cellulose Nanowhiskers from Coconut Husk*”. Cellulose, 18: 443-450.
- Farid, M., H. Ardhyananta, V. M. Pratiwi, S. P. Wulandari. 2015. *Correlation between Frequency and Sound Absorption Coefficient of Polymer Reinforced Natural Fibre*. Advanced Materials Research, Vol. 1112, pp. 329-332.
- Farid, M., T., Heryanto. 2013. *Correlation of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (NAC) and Random Incidence Sound Absorption Coefficient (RAC) of Polyester/Ramie Fibre Composite Materials*. Advanced Material Research. Vol. 789, pp.269-273. 2015.
- Figliolini, A. M. dan Carlsson, L. A. *Seawater Aging of Vinylester and Carbon Reinforced Vinylester* in Davies, P. *Durability of Composites in a Marine Environment*. Dordrecht: Springer.
- Ford, R. D., Hughes G. M. dan Saunders, D.J. 1970. “*The measurement of noise inside cars*”. Journal of Applied Acoustics: 69-84.

- Howard dan Angus, 2009. *Acoustics and Psychoacoustics 4th Edition*. Burlington: Oxford.
- Ibrahim, S.H., Sia, W.K., Baharun, A., Nawi, N.N.M dan Affandi, R. 2014. “*Thermal Performance of Oil Palm Fibre and Paper Pulp as the Insulation Materials*”. UNIMAS e-Journal o Civil Engineering : 22-28.
- Ioelovich, M. 2012. “*Study of Cellulose Interaction with Concentrated Solutions of Sulfuric Acid*”. ISRN Chemical Engineering. Vol. 2012. 7 Pages.
- Jamasri. 2008. *Prospek Pengembangan Komposit Serat Alam di Indonesia*, Pengukuhan Jabatan Guru besar, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Jawaid, M. dan Khalil, A.H.P.S. 2011. “*Effect of Layering Pattern on The Dynamic Mechanical Properties of Oil Palm-Jute Fibers Reinforced Epoxy Hybrid Composite*”. BioResources, 6: 2309-2322.
- Jawaid, M.,Khalil, A.H.P.S., Bakara, A. A. dan Khanam, P. N. 2011. “*Chemical Resistance, Void Content and Tensile Properties of Oil Palm/Jute Fiber Reinforced Polymer Hybrid Composites*”. Materials and Design, 32: 1014-1019.
- Jinping Zhou, Lina Zhang. 2000. “*Structure and Properties of Blend Membranes Prepared from Cellulose and Alginate in NaOH/Urea Aqueous Solution*”. Department of Chemistry, Wuhan University. China
- John, M. J., Tlili, R., Anandjiwala, R. D., Boudenne, A. dan Ibos, L. 2012. “*Effect of amphiphilic coupling agent on heat flow and dielectric properties of flax polypropylene composites*”. Composites Part B: Engineering 43: 526-532.
- Jorge P. Arenas and Malcolm J. Crocker , 2010. *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*. University Austral of Chile, Valdivia, Chile and, Auburn University, Auburn, Alabama, Sound and Vibration.
- Jorge P. Arenas. 2016. “*Applications of Acoustic Textiles in Automotive/Transportation*”. Acoustic Textiles, Textile Science and Cltohing Technology : 143-163.

- Joseph, S. Joseph, K. dan Thomas, S. 2006. *“Green Composites from Natural Rubber and Oil Palm Fiber: Physical and Mechanical Properties”*. International of Journal Polymer Materials 55: 925-945.
- Joseph, P.V. 2001. *“Studies on Short Sisal Fiber Reinforced Isotatic Polypropylene Composites”*. India: Mahatma Gandhi University
- Kadam, Vinod V. dan Rajkishore Nayak. 2016. *“Basic of Acoustic Science”*. Acoustic Textiles, Textile Science and Clothing Technology : 33-42.
- Kargarzadeh, H., Ahmad, I., Abdullah, I., Dufresne, A., Zainudin, S.Y., Sheltami, R.M. 2012. *“Effects of Hydrolysis Conditions on The Morphology, Crystallinity and Thermal Stability of Cellulose Nanocrystals Extracted from Kenaf Bast Fibers”*. Cellulose, 19: 855-866.
- Khalil, H. S., Ismail, H., Rozman, H. D dan Ahmad, M. N. 2001. *“The Effect of Acetylation on Interfacial Shear Strength between Plant Fibers and Various Matrices”*. European Polymer Journal, 37(5): 1037-1045.
- Khalil, A.H.P.S., Marliana, M.M. dan Alshammari, T. 2011. *“Material Properties of Epoxy-Reinforced Biocomposites with Lignin from Empty Fruit Bunch as Curing Agent”*. BioResources, 6: 5206-5223.
- Koizumi, T., Tsujiuchi N. dan Adachi A. 2002. *“The Development of Sound Absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers”*. High Performs Struct Compos, 49: 157-166.
- Lampman, S. 2003. *Characterization and Failure Analysis of Plastics*. United States of America : ASM International.
- Lehninger, Albert L., David L. Nelson dan Michael M. Cox. 2000. *Lehninger Principles of Biochemistry*. New York : Worth Publisher.

- Liu, P. S. dan Chen, G. F. 2014. *Porous Materials: Processing and Applications*. USA: Elsevier.
- Li, X., Tabil, L. G. dan Panigrahi, S. 2007. “*Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber –Reinforced Composites: A Review*”. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1): 25-33
- Li, Y., Luo Y. dan Han S. 2010. “*Multi-scale Structures of Natural Fibres and Their Application in Making Automobile Parts*”. *J Biobas Mater Bioenergy*, 4: 164-171.
- Lojewska. J., P. Miskowicz, T. Lojewski, L.M. Proniewicz. 2005. “*Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach*”. *Polymer Degradation and Stability*, 88, Hal. 512-520.
- Mahjoub, R., Jamaludin Bin Mohamad Yatim dan Abdul Rahman Mohd Sam. 2012. “*A Review of Structural Performance of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber in Polymer Composites*”. *Advances in Materials Science and Engineering* . Vol 2013.
- Mallick, P. K. 2008. *Fiber Reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC
- Manning Russell, J.E. 2006. *Temperature in Cars Survey*. Brisbane: RACQ Vehicle Technologies Department.
- M. D. H Beg, M.F Mirna, R. M Yunus, A. K. M Moshikul Alam. 2015. *The Use of Biomass (OPB) Fibers as Reinforcement in Composites*. United Kingdom: Woodhead Publishing.
- Mediastika, Christina E. 2005. *Akustika Bangunan*. Jakarta: Erlangga.
- Mishra, V. dan Sandhyarani Biswas. 2013. “*Physical and Mechanical Properties of Bi-directional Jute Fiber Epoxy Composites*”. *Procedia Engineering*, 51: 561.566.
- Mohamad, H., Zin Zawawi, Z. dan Abdul Halim, H. 1985. “*Potentials of Oil palm by-Products as Raw Materials for Agro-Based Industries*”. *Proceedings of the National*

- Symposium on Oil Palm By-Products for Agro-Based Industries, Malaysia.
- Monteiro, S. N., Calado, V., Rodriguez, R. J. S. dan Margem, F. M. 2012. "*Thermogravimetric behavior of natural fibers reinforced polymer composites-An overview*". Materials Science and Engineering : 17-28.
- Moon, Robert J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J. dan Youngblood, J. 2011. "*Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites*". Chem. Seoc. Rev., 40: 3941-3994.
- Mounika, M., Govind, N., dan Ravindra, K. 2016. "*Characterization of Green Gram Husk Cellulose based Polyester Nanocomposite*". Proceedings of AIMTDR: 1001-1006.
- Mørkholt, Jakob et al. 2011. "*Sound Intensity Measurements in Vehicle Interiors*". Soung & Vibration, December 2011.
- Nair, K. G. dan Dufresne, A. 2003. "Crab Shell Chtin Whisker Reinforced Natural Rubber Nanocomposites. 1. Processing and Swelling Behavior". Biomacromolecules; 4(3): 657-665.
- Nanda, B. P. dan Stapathy, A. 2017. "*Processing and Characterization of Epoxy Composites Reinforced with Human Hair*". Material Science and Engineering 178.
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., Le, T. M. 2016. "A Review of Recent Developments in Natural Fiber Composites and Their Mechanical Performance." Composites: Part A; 83: 98-112.
- Pratama, R. D., Farid, M. 2017. *Karakterisasi Komposit Silicone Rubber Berpenguat Nanoselulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Barium Heksaferrit untuk Aplikasi Penyerap Suara dan Penyerap Radar*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Rahmasita, M. E., Farid, M. 2017. *Rekayasa Komposit Poliester Berpenguat Nanoselulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Metode Spray untuk Aplikasi Penyerap Suara*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

- Rajni, A., Saxena, N. S., Sharma, K. B., Thomas, S. dan Pothan, L. A. 2006. “*Thermal Conduction and Diffusion Through Polyester Composites*”. Indian Journal of Pure & Applied Physics 44: 746-750.
- Raju, G. U., V. N. Gaitonde dan S. Kumarappa. 2012. “*Experimental Study on Optimization of Thermal Properties of Groundnut Shell Particle Reinforced Polymer Composite*”. Int. J, Emerg. Sci., 2(3): 433-454.
- Ratnasingam, J. 2011. *Oil Palm Biomass Utilization – Counting the successes in Malaysia*. Available from <http://www.woodmagmagazine.com/node/417>.
- Rayung, M., Ibrahim, N. A., Zainuddin, N., Saad, W.Z., Razak, N. I. A. dan Chieng, B. W. 2014. “*The Effect of Fiber Bleaching Treatment on the Properties of Poly(lactic acid)/Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Composites*”. International Journal of Molecular Sciences, 15(8): 14728-14742.
- Reddy, J. P. dan Rhim, J. W. 2014. “*Characterization of Bionanocomposite Films Prepared with Agar and Paper-Mulberry Pulp Nanocellulose*”. Carbohydrate Polymers, 220: 480-488.
- Reddy, N. dan Yang, Y. 2005. “*Structure and Properties of High Quality Natural Cellulose Fiber from Cornstalks*”. Polymer 46(15): 5494-5500.
- Rosidah, A. A, Farid, M. 2016. *Studi Bahan Akustik Silicone Rubber Berpori Berpenguat Nano Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Samsudin, E. A., Ismail, L. H., dan Kadir, A. A. 2016 “*A review of physical factors influencing absorption performance of fibrous sound absorption material from natural fibers*”. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 11(6): 3703-3711.
- Shanmugarajah, Bawaanii, Peck Loo Kiew, Irene Mei Leng Chew, Thomas Shean Yaw Choong, Khang Wei Tan. 2015. “*Isolation of NanoCrystalline Cellulose (NCC) from Palm Oil*

- Empty Fruit Bunch (EFB): Preliminary Result on FTIR and DLS Analysis*". Chemical Engineering Transactions. Vol. 45. Hal. 1705-1710.
- Sethuraman, K., Lakshmikandhan, T. dan Alagar, M. 2015. *"Surface Free Energy and Dielectric Porperties of Vinyltriethoxysilane Functionalised SBA-15 Reinforced Unsaturated Polyester Nanocomposites"*. Polymer Composites.
- Shah, D.U. 2013. *"Developing Plant Fibre Composites For Structural Applications by Optimizing Composite Parameters: A Critical Review"*. J mater Sci., 48: 6083-6107.
- Sreekala, M.S., Kumaran, M.G. dan Thomas, S. 1997. *"Oil Palm Fibers: Morphology, Chemical Composition, Surface Modifications and Mechanical Properties"*. Journal of Applied Polymer Scince 66: 821-835.
- Sreekala, M.S., Kumaran, M.G., Geethakumariamamma, M.L. dan Thomas, S. 2004. *"Environmental Effects in Oil Palm Fiber Reinforced Phenol Formaldehyde Composites: Studies on Thermal, Biological, Moisture and High Energy Radiation Effects"*. Advanced Composite Materials: The Official Journal of the Japan Society of Composite Materials 13 (3-4): 171-197.
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Torres, F. G., Flores, R., Dienstmaier, J. F. dan Quintana, O. A. 2005. *"Transport and Flame Properties of Natural Fibre Reinforced Polymers"*. Polymer & Polymer Composites, 13: 753-764.
- Utomo, S. B., Farid, M. 2017. *Pengaruh Penambahan Nanoselulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Komposit Poliuretan untuk Insulasi Termal dan Absorpsi Suara pada Interior Mobil*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

- Widiarto, S., Yuwono, S. D. Rochliadi, A. dan Arcana, I. M. 2017. *“Preparation and Characterization of Cellulose and Nanocellulose from Agro-Industrial Waste-Cassava peel”*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; 176.
- Wirajaya, A. 2007. *Karakteristik Komposit Sandwich Serat Alami sebagai Absorber Suara*. ITB BANDUNG.
- Wirjosentono, B., Guritno, P. dan Ismail, H. 2004. *“Oil Palm Empty Fruit Bunch Filled Polypropylene Composites”*. International Journal of Polymer Materials 53: 295-306.
- Xiao, X., Bian, J., Li, M. F., Xu, H., Xiao, B. dan Sun, R. C. 2014. *“Enhanced Enzymatic Hydrolysis of Bamboo (*Dendrocalamus giganteus* Munro) Culm by Hydrothermal Pretreatment”*. Bioresource Technology, 159: 41-47.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN MASSA SPESIMEN

1. Massa Spesimen Uji Absorpsi Suara

$$\begin{aligned}\text{Massa total} &= v \times \rho \\ &= \pi \times r^2 \times t \times \rho \\ &= 95.425 \text{ g}\end{aligned}$$

- UPR Murni

Massa UPR	= 94% x 95.43 g	= 89.704 g
Massa MEKP	= 1% x 95.43 g	= 0.954 g
Massa SM	= 5% x 95.43	= 4.772 g

- UPR/Nanoselulosa 2%

Massa Filler	= 2% x 95.43 g	= 1.909 g
Massa UPR	= 94% x (95.43-1.909)g	= 87.909 g
Massa MEKP	= 1% x (95.43-1.909)g	= 0.935 g
Massa SM	= 5% x (95.43-1.909)g	= 4.676 g

- UPR/Nanoselulosa 4%

Massa Filler	= 4% x 95.43 g	= 3.817 g
Massa UPR	= 94% x (95.43-3.817)g	= 86.116 g
Massa MEKP	= 1% x (95.43-3.817)g	= 0.916 g
Massa SM	= 5% x (95.43-3.817)g	= 4.581 g

- UPR/Nanoselulosa 6%

Massa Filler	= 6% x 95.43 g	= 5.726 g
Massa UPR	= 94% x (95.43-5.726)g	= 84.322 g
Massa MEKP	= 1% x (95.43-5.726)g	= 0.897 g
Massa SM	= 5% x (95.43-5.726)g	= 4.485 g

2. Massa Spesimen Uji Konduktivitas Termal

(a) Spesimen 4 cm x 0.4 cm

$$\begin{aligned}\text{Massa total} &= v \times \rho \\ &= \pi \times r^2 \times t \times \rho\end{aligned}$$

$$= 6.107 \text{ g}$$

- UPR Murni

Massa UPR	= 94% x 6.107 g	= 5.741 g
Massa MEKP	= 1% x 6.107 g	= 0.061 g
Massa SM	= 5% x 6.107 g	= 0.305 g
- UPR/Nanoselulosa 2%

Massa Filler	= 2% x 6.107 g	= 0.122 g
Massa UPR	= 94% x (6.107-0.122)g	= 5.626 g
Massa MEKP	= 1% x (6.107-0.122)g	= 0.059 g
Massa SM	= 5% x (6.107-0.122)g	= 0.299 g
- UPR/Nanoselulosa 4%

Massa Filler	= 4% x 6.107 g	= 0.244 g
Massa UPR	= 94% x (6.107-0.244)g	= 5.511 g
Massa MEKP	= 1% x (6.107-0.244)g	= 0.059 g
Massa SM	= 5% x (6.107-0.244)g	= 0.293 g
- UPR/Nanoselulosa 6%

Massa Filler	= 6% x 6.107 g	= 0.366 g
Massa UPR	= 94% x (6.107-0.366)g	= 5.397 g
Massa MEKP	= 1% x (6.107-0.366)g	= 0.057 g
Massa SM	= 5% x (6.107-0.366)g	= 0.287 g

(b) Spesimen 4 cm x 0.2 cm

$$\begin{aligned}
 \text{Massa total} &= v \times \rho \\
 &= \pi \times r^2 \times t \times \rho \\
 &= 3.054 \text{ g}
 \end{aligned}$$

- UPR Murni

Massa UPR	= 94% x 3.054 g	= 2.871 g
Massa MEKP	= 1% x 3.054 g	= 0.030 g
Massa SM	= 5% x 3.054 g	= 0.153 g

- UPR/Nanoselulosa 2%

$$\text{Massa Filler} = 2\% \times 3.054 \text{ g} = 0.061 \text{ g}$$

$$\text{Massa UPR} = 94\% \times (3.054 - 0.061) \text{ g} = 2.963 \text{ g}$$

$$\text{Massa MEKP} = 1\% \times (3.054 - 0.061) \text{ g} = 0.029 \text{ g}$$

$$\text{Massa SM} = 5\% \times (3.054 - 0.061) \text{ g} =$$

- UPR/Nanoselulosa 4%

$$\text{Massa Filler} = 4\% \times 3.054 \text{ g} = 0.122 \text{ g}$$

$$\text{Massa UPR} = 94\% \times (3.054 - 0.122) \text{ g} = 2.813 \text{ g}$$

$$\text{Massa MEKP} = 1\% \times (3.054 - 0.122) \text{ g} = 0.029 \text{ g}$$

$$\text{Massa SM} = 5\% \times (3.054 - 0.122) \text{ g} = 0.149 \text{ g}$$

- UPR/Nanoselulosa 6%

$$\text{Massa Filler} = 6\% \times 3.054 \text{ g} = 0.183 \text{ g}$$

$$\text{Massa UPR} = 94\% \times (3.054 - 0.183) \text{ g} = 2.699 \text{ g}$$

$$\text{Massa MEKP} = 1\% \times (3.054 - 0.183) \text{ g} = 0.029 \text{ g}$$

$$\text{Massa SM} = 5\% \times (3.054 - 0.183) \text{ g} = 0.144 \text{ g}$$

3. Massa Spesimen Uji Densitas, SEM, FTIR dan TGA

$$\text{Massa total} = v \times \rho$$

$$= p \times l \times t \times \rho$$

$$= 1.215 \text{ g}$$

- UPR Murni

$$\text{Massa UPR} = 94\% \times 1.215 \text{ g} = 1.142 \text{ g}$$

$$\text{Massa MEKP} = 1\% \times 1.215 \text{ g} = 0.012 \text{ g}$$

$$\text{Massa SM} = 5\% \times 1.215 \text{ g} = 0.061 \text{ g}$$

- UPR/Nanoselulosa 2%

$$\text{Massa Filler} = 2\% \times 1.215 \text{ gr} = 0.024 \text{ g}$$

$$\text{Massa UPR} = 94\% \times (1.215 - 0.024) \text{ g} = 1.119 \text{ g}$$

$$\text{Massa MEKP} = 1\% \times (1.215 - 0.024) \text{ g} = 0.012 \text{ g}$$

$$\text{Massa SM} = 5\% \times (1.2215 - 0.024) \text{ g} = 0.059 \text{ g}$$

- UPR/Nanoselulosa 4%

Massa Filler = 4% x 1.215gr = 0.048 g

Massa UPR = 94% x (1.215-0.048)g = 1.097 g

Massa MEKP = 1% x (1.215-0.048)g = 0.012 g

Massa SM = 5% x (1.2215-0.048)g = 0.058 g

- UPR/Nanoselulosa 6%

Massa Filler = 6% x 1.215 g = 0.072 g

Massa UPR = 94% x (1.215-0.072)g = 1.074 g

Massa MEKP = 1% x (1.215-0.072)g = 0.011 g

Massa SM = 5% x (1.215-0.072)g = 0.057 g

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN MASSA JENIS KOMPOSIT

A. Eksperimen

Mencari massa jenis :

$$\frac{\text{massa spesimen di udara (g)}}{\text{massa spesimen dalam air (g)}} \times \text{massa jenis air (0.995 g/cm}^3\text{)}$$

1. UPR Murni

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	1.3843	1.127	1.228305235
2	1.3966	1.1257	1.240650262
3	1.3341	1.068	1.249157303
Rata-rata			1.239370934

2. UPR/Nanoselulosa 2%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	1.3482	1.0791	1.249374479
2	1.4293	1.1535	1.239098396
3	1.3898	1.1315	1.228281043
Rata-rata			1.238917973

3. UPR/Nanoselulosa 4%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	1.3013	1.0458	1.244310576
2	1.401	1.1387	1.2303504
3	1.3044	1.0575	1.233475177
Rata-rata			1.236045384

4. UPR/Nanoselulosa 6%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	1.3192	1.0836	1.217423403
2	1.3494	1.1063	1.219741481
3	1.2833	1.0505	1.221608758
Rata-rata			1.219591214

B. Teoritis

Perhitungan teoritis densitas dari komposit :

$$\rho_{ct} = \frac{1}{\left(\frac{w_f}{\rho_f}\right) + \left(\frac{w_m}{\rho_m}\right)}$$

Perhitungan *volume fraction of void* dari komposit :

$$\Delta v = \frac{\rho_{ct} - \rho_{ex}}{\rho_{ct}}$$

Spesimen	Densitas (g/cm³)	<i>Fraction of Void (%)</i>
UPR Murni	1.24	0.550477512
UPR/Nanoselulosa 2%	1.245605224	1.034183265
UPR/Nanoselulosa 4%	1.251261352	1.709970094
UPR/Nanoselulosa 6%	1.256969083	3.458782348

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN NILAI KONDUKTIVITAS TERMAL
KOMPOSIT

A. Eksperimen

$$L_a = 2 \text{ mm}$$

$$L_b = 4 \text{ mm}$$

$$L_R = 30 \text{ mm}$$

$$k \text{ tembaga} = 372.16 \text{ W/m}^0\text{C}$$

Rumus :

$$\Delta T_R = \frac{\Delta T}{6}$$

$$\Delta T_a = 1.167 (T_6 - T_5 - T_7 + T_8) + T_5 - T_8$$

$$\Delta T_b = 1.167 (T_4 - T_3 - T_5 + T_6) + T_3 - T_6$$

$$k_a' = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_a} \frac{L_a}{L_R} k_R$$

$$k_b' = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_b} \frac{L_b}{L_R} k_R$$

$$k = \frac{L_b - L_a}{\left(\frac{L_b}{k_b}\right) - \left(\frac{L_a}{k_a}\right)}$$

1. UPR Murni

	80°C			100°C			120°C		
	1	2	Δ	1	2	Δ	1	2	Δ
T1	85	85	85	105	106	105.5	125	126	125.5
T2	84	85	84.5	104	105	104.5	124	125	124.5
T3	84	84	84	104	104	104	124	125	124.5
T4	83	84	83.5	103	104	103.5	123	124	123.5
T5	41	41	41	44	44	44	49	49	49
T6	40	41	40.5	44	44	44	49	49	49
T7	33	33	33	33	33	33	34	34	34
T8	33	33	33	33	33	33	34	34	34
T9	33	33	33	33	33	33	34	34	34
T10	33	33	33	33	33	33	34	34	34
T12	33	33	33	33	33	33	34	34	34

	80°C	100°C	120°C	$\Delta k =$ 0.16926394
ΔT_R	0.25	0.33333333	0.33333333	
ΔT_a	8.7525	12.837	17.505	
ΔT_b	42.333	59.4165	74.333	
K_a'	0.70867371	0.64424883	0.47244914	
K_b'	0.29304168	0.27838133	0.22251819	
k	0.18471037	0.17755069	0.14553076	

2. UPR/Nanoselulosa 2%

	80°C			100°C			120°C		
	1	2	Δ	1	2	Δ	1	2	Δ
T1	86	86	86	105	106	105.5	125	126	125.5
T2	85	86	85.5	104	105	104.5	125	126	125.5
T3	85	85	85	103	104	103.5	124	125	124.5
T4	84	85	84.5	103	104	103.5	124	124	124
T5	41	41	41	45	45	45	50	50	50
T6	41	41	41	45	45	45	50	50	50
T7	34	34	34	34	34	34	34	35	34.5
T8	34	34	34	34	34	34	34	34	34
T9	34	34	34	34	34	34	34	34	34
T10	34	34	34	34	34	34	34	34	34
T12	34	34	34	34	34	34	34	34	34

	80°C	100°C	120°C	$\Delta k =$ 0.16840883
ΔT_R	0.25	0.33333333	0.33333333	
ΔT_a	8.169	12.837	18.0885	
ΔT_b	43.4165	58.5	73.9165	
K_a'	0.75929326	0.64424883	0.45720885	
K_b'	0.28572854	0.28274264	0.22377202	
k	0.17597466	0.1811143	0.14813753	

3. UPR/Nanoselulosa 4%

	80°C			100°C			120°C		
	1	2	Δ	1	2	Δ	1	2	Δ
T1	86	86	86	106	106	106	125	126	125.5
T2	86	86	86	105	106	105.5	124	126	125
T3	85	85	85	104	105	104.5	123	125	124
T4	85	85	85	104	105	104.5	123	124	123.5
T5	44	44	44	47	47	47	51	51	51
T6	44	44	44	47	47	47	51	51	51
T7	35	36	35.5	35	35	35	35	35	35
T8	35	35	35	35	35	35	35	35	35
T9	35	35	35	35	35	35	35	35	35
T10	35	35	35	35	35	35	35	35	35
T12	34	34	34	34	34	34	34	34	34

	80°C	100°C	120°C	$\Delta k =$ 0.16535043
ΔT_R	0.25	0.25	0.33333333	
ΔT_a	9.9195	14.004	18.672	
ΔT_b	41	57.5	72.4165	
K_a'	0.62530033	0.44292107	0.44292107	
K_b'	0.30256911	0.21574493	0.22840712	
k	0.19956779	0.14260315	0.15388035	

4. UPR/Nanoselulosa 6%

	80°C			100°C			120°C		
	1	2	Δ	1	2	Δ	1	2	Δ
T1	86	86	86	106	107	106.5	125	126	125.5
T2	86	86	86	105	106	105.5	124	126	125
T3	85	85	85	105	105	105	123	125	124
T4	85	85	85	105	105	105	123	124	123.5
T5	46	46	46	50	50	50	53	53	53
T6	46	46	46	50	50	50	53	53	53
T7	35	35	35	35	35	35	35	35	35
T8	35	35	35	35	35	35	35	35	35
T9	35	35	35	35	35	35	35	35	35
T10	35	35	35	35	35	35	35	35	35
T12	34	34	34	34	34	34	34	34	34

	80°C	100°C	120°C	$\Delta k =$ 0.16361873
ΔT_R	0.16666667	0.25	0.33333333	
ΔT_a	12.837	17.505	21.006	
ΔT_b	39	55	70.4165	
K_a'	0.32212441	0.35433686	0.39370762	
K_b'	0.21205698	0.22555152	0.23489444	
k	0.15805187	0.1654265	0.16737783	

B. Teoritis

Model rule of mixture:

$$\frac{1}{k_c} = \frac{V_f}{k_f} + \frac{(1-V_f)}{k_m}$$

Spesimen	Konduktivitas Termal (W/mK)
UPR Murni	0.18
UPR/Nanoselulosa 2%	0.1721
UPR/Nanoselulosa 4%	0.165
UPR/Nanoselulosa 6%	0.1584

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN REDUKSI UKURAN SERAT

$$\% \text{ Reduksi} = \frac{\text{original value} - \text{new value}}{\text{original value}} \times 100$$

Perlakuan	Diameter (μm)			Rata-rata diameter (μm)	% Reduksi
	1	2	3		
Tanpa Perlakuan	333.33	369.05	380.95	361.11	-
Alkalisasi	144.58	132.53	120.48	132.53	63.29927
Bleaching	26.4	38.4	33.6	32.8	75.25089
Hidrolisis	4	5.6	4.8	4.8	85.36585

LAMPIRAN E

HASIL PENGUJIAN

A. Resin Poliester Tak Jenih



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 147/PRO/VIBRASTIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen UPR Polos dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Jumat, 26 Mei 2017 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0.1904
250	0.2983
500	0.3570
1000	0.3594
2000	0.4015
4000	0.4437

Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

B. UPR/Nanoselulosa 2%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 148/PRO/VIBRATIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen UPR+2% TKKS dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Jumat, 26 Mei 2017 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0.1882
250	0.1905
500	0.3043
1000	0.3669
2000	0.3963
4000	0.4338

Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

C. UPR/Nanoselulosa 4%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 149/PRO/VIBRASTIC/V/2017
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen UPR+4% TKKS dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Jumat, 26 Mei 2017 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0.1906
250	0.2313
500	0.3476
1000	0.3788
2000	0.3839
4000	0.4409

Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

D. UPR/Nanoselulosa 6%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAX : 1201
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 150/PRO/VIBRATIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen UPR+6% TKKS dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Jumat, 26 Mei 2017 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0.2001
250	0.2808
500	0.3599
1000	0.3764
2000	0.4238
4000	0.4475

Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Axel Gian Aditama, lahir di Bekasi, 10 November 1995 dari pasangan Ir. Hindarto dan Juniarti. Penulis adalah putra pertama dari dua bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di SD Ananda, lalu SMP Global Prestasi School, lalu SMAK 7 Penabur. Penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan di kampus antara lain sebagai Staff Hubungan Luar BEM FTI ITS periode 2014/2015 merangkap Staff Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa KMK St. Ignatius ITS periode 2014/2015, Kepala Departemen Eksternal KMK St. Ignatius periode 2015/2016 serta Kepala Departemen Hubungan Luar BEM FTI ITS periode 2015/2016. Selain itu, penulis juga memiliki pengalaman kerja praktisi di PT. Duta Cipta Pakarperkasa pada divisi *Quality Control and Maintenance*. Sebagai tugas akhir, penulis mengambil topik mengenai material inovatif (komposit).

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)